



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIDADE DE ENSINO SUPERIOR DOM BOSCO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**WALÉRIA DAIANY LIMA DE BRITO**

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA UTILIZANDO OS  
INDICADORES DE FRAGILIDADE:** Estudo de caso na Estrada do Pimenta no bairro do  
Alto do Calhau em São Luís - MA

São Luís

2020

**WALÉRIA DAIANY LIMA DE BRITO**

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA UTILIZANDO OS  
INDICADORES DE FRAGILIDADE:** Estudo de caso na Estrada do Pimenta no bairro do  
Alto do Calhau em São Luís - MA

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em  
Engenharia Civil no Centro Universitário Unidade de  
Ensino Superior Dom Bosco como requisito para  
obtenção do grau de Bacharel(a) em Engenharia Civil.



Orientador: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Claudemir Gomes de Santana

São Luís

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Centro Universitário - UNDB / Biblioteca

Brito, Waléria Daiany Lima de

Avaliação do sistema de drenagem urbana utilizando os indicadores de fragilidade: estudo de caso na estrada do Pimenta no bairro do Alto do Calhau em São Luís- MA. / Waléria Daiany Lima de Brito. \_\_ São Luís, 2020.

87 f.

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Gomes de Santana.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil – Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco – UNDB, 2020.

1. Sistema de drenagem. 2. Drenagem urbana. 3. Drenagem de águas pluviais. I. Título.

CDU 628.2(812.1)

**WALÉRIA DAIANY LIMA DE BRITO**

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA UTILIZANDO OS INDICADORES DE FRAGILIDADE:** Estudo de caso na Estrada do Pimenta no bairro do Alto do Calhau em São Luís - MA

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Civil no Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco como requisito para obtenção do grau de Bacharel(a) em Engenharia Civil.

Aprovada em: 10/12/2020

BANCA EXAMINADORA



---

**Prof. Dr. Claudemir Gomes de Santana** (Orientador)

Centro Universitário - UNDB

---

**Profa. Renata Medeiros Lobo Muller**

Centro Universitário - UNDB

---

**Prof. Rafael Carlos Walachinski**

Centro Universitário – UNDB

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me abençoar sempre, me guiar em seus caminhos, capacitando meu caráter, minha sabedoria e todos os projetos da minha vida superando todas as dificuldades.

Aos meus pais Waldemir Brito e Maria da Conceição pelo apoio, incentivo e compreensão das minhas falhas e conquistas durante a graduação.

Ao meu esposo Domingos Neto pelo apoio e amor durante todo o processo.

Aos meus irmãos Wellighton Brito e Wanessa Brito pela amizade, compressão e contribuição para a realização deste sonho.

Ao meu orientador e professor Claudemir G. Santana, a quem dedico minha admiração e meu respeito pela pessoa e profissional que este se mostra. Apesar de não possuir quase nenhum tempo de sobra, conseguiu me auxiliar e explicitar críticas e sugestões a este trabalho.

E a todos que de forma direta ou indireta fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

*“A mente que se abre a uma nova ideia jamais  
voltará ao seu tamanho original”.*

(Albert Einstein)

## RESUMO

O sistema de drenagem urbana é visto como uma série de medidas com a intenção de diminuir os riscos que a população está sujeita, minimizando os prejuízos gerados pelas inundações, além de possibilitar o desenvolvimento urbano de modo harmônico, articulado e sustentável. Um sistema de drenagem, bem dimensionado, faz parte de um conjunto de melhorias disponíveis para áreas urbanizadas. Este estudo de caráter explicativo tem o objetivo de verificar quais fatores interferem na funcionalidade do sistema de drenagem pluvial urbana da Estrada do Pimenta no bairro Alto do Calhau, discutindo através da metodologia do índice de fragilidade do sistema a sua funcionalidade. A metodologia para sua construção utilizou inicialmente a literatura pertinente para o encontro dos pressupostos que embasaram o assunto em foco. Em seguida realizou pesquisa mediante visitas *in loco* no período de janeiro a agosto de 2020, para a obtenção das informações através de registros fotográficos. A análise dos dados (fotografias) deu-se de forma conjunta com a análise de mapas (bem como curvas de níveis, perfil de elevação e mapa altímetro do local e entorno) e o histórico da região (bem como estudo pluviométrico e casos de alagamentos) que foram ferramentas fundamentais para decidir os seis pontos críticos de alagamentos demarcados na Estrada do Pimenta e aplicação do Índice de Fragilidade do Sistema com base nos fatores ambiental, tecnológica e institucional, apontando os valores relativos ao índice Geral de Fragilidade nos pontos indicados. Os resultados indicaram valores elevados correspondentes a estes indicadores, os pontos mais críticos (com maior IFS com relação ao sistema de drenagem) foram os PE – 02 e PE – 03, os quais apresentaram os problemas mais significativos da via, necessitando de providências o mais rápido possível. Ao final do estudo de acordo com os resultados observados foram propostas algumas medidas estruturais e não-estruturais com o intuito de resultar na solução dos problemas de diversos aspectos do sistema de drenagem pluvial que são enfrentados na Estrada do Pimenta.

**Palavras-chave:** Sistema de Drenagem, Urbanização, Índice de fragilidade do sistema, Estrada do Pimenta - MA.

## ABSTRAT

The urban drainage system is seen as a series of measures with the intention of reducing the risks that the population is resolved, minimizing the losses generated by the floods, in addition to enabling harmonious, articulated and sustainable urban development. A well-dimensioned drainage system is part of a set of improvements available for urbanized areas. This explanatory study aims to verify which factors interfere with the functionality of the urban rain drainage system of Estrada do Pimenta in the Alto do Calhau neighborhood, discussing its functionality through the system's fragility index methodology. The methodology for its construction uses a pertinent literature bulletin to find the assumptions that supported the subject in focus. Then, the survey carried out through on-site visits from January to August 2020, to obtain the information through photographic records. An analysis of the data (photographs) took place in conjunction with an analysis of maps (as well as contour lines, elevation profile and altimeter map of the location and surroundings) and the history of the region (as well as rainfall and flooding cases ), which were fundamental tools to decide the six defined flooding points demarcated on Estrada do Pimenta and the application of the System Fragility Index based on environmental, technological and institutional factors, the values relative to the General Fragility Index at the indicated points being adequate. The results indicated high values corresponding to these indicators, the most obliged points (with greater IFS in relation to the drainage system) were the PE - 02 and PE - 03, the data related to the most known problems of the road, requiring the most appropriate measures. fast as possible. At the end of the study, according to the observed results, some suggestions were proposed and not applied in order to result in the solution of the problems of various aspects of the storm drainage system that are faced in Estrada do Pimenta.

**Keywords:** Drainage System, Urbanization, System fragility index, Estrada do Pimenta - MA.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: a) Estrada do Pimenta alagada após fortes chuvas. b) Ponto de alagamento.....	18
Figura 02: a) Situação do asfalto na referida estrada. b) Processos de erosão solo .....	18
Figura 03: Fluxograma com os processos ocorridos devido à urbanização .....	22
Figura 04: Representação esquemática e real de uma bacia hidrográfica .....	24
Figura 05: Esquema das alterações no balanço hídrico, decorrentes da urbanização. ....	26
Figura 06: Modificações no solo e suas consequências em termos de hidrogramas. ....	26
Figura 07: Fluxograma com os processos ocorridos devido à urbanização .....	27
Figura 08: Representação de alguns elementos de micro e macrodrenagem .....	36
Figura 09: Localização da Estrada do Pimenta. ....	47
Figura 10: Pontos Críticos de Estudos.....	48
Figura 11: Curvas de Níveis – Estrada do Pimenta e entorno.....	54
Figura 12: Perfil de elevação – Estrada do Pimenta.....	54
Figura 13: Altimetria – Estrada do Pimenta e entorno .....	55
Figura 14: a) Afluente na Estrada do Pimenta, vista mais a jusante. b) Afluente na Estrada do Pimenta coberto pela vegetação. c) Afluente na Estrada do Pimenta, vista mais a montante. d) Ausência de dispositivos de microdrenagem e descarte irregular de resíduos.....	57
Figura 15: a) Vala e trincheira de infiltração em bom estado de conservação. b) Vala de infiltração em mal estado de conservação. c) Meio fio com vegetação e resíduos sólidos. d) Boca-de-lobo com obstrução.....	58
Figura 16: a) Descarte irregular de resíduos sólidos em estradas adjacentes. b) Resíduos sólidos advindo de construção civil. c) Processos erosivos no solo devido escoamento superficial. d) Sedimentos sólidos que são carregados pela força da vazão das águas pluviais. e) Muro caído após forte chuva. f) Poças de águas pluviais devido ausência de dispositivos de microdrenagem. ....	59
Figura 17: a) Problemas no pavimento e alagamento dificultando tráfego de veículos. b) Defeitos de pavimento provocados pelo escoamento superficial. c) Problemas de alagamentos no local de estudo. d) Alagamentos com arraste de resíduos sólidos na via. e) Nascente do Rio Calhau. f) Prefeitura trabalhando nos problemas gerados pelo escoamento das águas pluviais. ....	61
Figura 18: a) Arraste de sedimentos nas vias pavimentadas. b) Resíduos sólidos descartados na rua adjacente a Estrada. c) Lixo descartado no curso da Estrada. d) Lixo descartado	

indevidamente. e) Casa localizada no PE alagada após chuva. f) Defeitos provocados em veículos que passam no local devido buracos na Estrada.....	62
Figura 19: a) Defeitos no pavimento da Rua Xavier Chaga. b) Processos erosivos na extremidade da estrada. c) Resíduos sólidos associados a descarga irregular de esgoto sanitário residencial. d) Resíduos sólidos no limite da pista.....	64
Figura 20: a) Descarte irregular de lixo urbano em terreno baldio. b) Alagamentos com araste de resíduos na faixa de rolamento da via. c) Alagamentos no PE. d) Alagamentos no cruzamento do PE. ....	66
Figura 21: a) Interseção entre a Rua Duque de Caxias e Rua Barão de Itapary, apresentando problemas devido falhas no sistema de drenagem. b) Alagamentos na Rua Barão de Itapary que desaguam nos demais PEs. c) Ausência de dispositivos de microdrenagem e acúmulo de resíduos sólidos frente Associação Do Altos Do Calhau. d) Alagamentos frente a Associação Do Altos Do Calhau. ....	68

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Precipitações máximas entre 1990 e 06/2019 em São Luís – MA.....	31
Gráfico 02: Média mensal das precipitações entre 1990 e 06/2019 em São Luís – MA.....	31
Gráfico 03: Maior precipitação entre 1990 e 06/2019 em São Luís – MA .....	32
Gráfico 04: Quantidade pluviométrica de chuvas acumuladas para o ano de 2020 em São Luís .....	32
Gráfico 05: Representação gráfica do Índice Geral de Fragilidade para os 6 pontos de estudo na Estrada do Pimenta .....	69

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Descrição funções dos componentes do sistema de drenagem pluvial. ....	36
Quadro 02: Medidas estruturais para o controle de inundações. ....	40
Quadro 03: Medidas estruturais de controle a enchente. ....	41
Quadro 04: Medidas não estruturais para o controle de inundações. ....	42
Quadro 05: Fatores intervenientes no sistema de drenagem pluvial urbano. ....	49
Quadro 06: Indicadores de Fragilidade do Sistema. ....	50
Quadro 07: Valores da manifestação dos indicadores. ....	51
Quadro 08: Graus e intervalos de fragilidade. ....	51
Quadro 09: Matriz de identificação das ações recomendadas para cada PE. ....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ANA</b>	– Agência Nacional das Águas
<b>BA</b>	– Bahia
<b>CS7</b>	– Corredor Urbano 7
<b>INMET</b>	– Instituto Nacional de Meteorologia
<b>IBGE</b>	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IFG</b>	– Índice de Fragilidade Geral
<b>IFS</b>	– Índice de Fragilidade do Sistema
<b>MA</b>	– Maranhão
<b>PEs</b>	– Pontos de Estudo
<b>SRTM</b>	– <i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
<b>UFBA</b>	– Universidade Federal da Bahia
<b>USGS</b>	– Serviços Geológicos dos Estados Unidos
<b>ZR7</b>	– Zona Residencial 7

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1 Problemática .....	17
1.2 Hipóteses.....	19
1.3 Objetivos .....	19
1.3.1 Geral .....	19
1.3.2 Específicos .....	20
1.4 Justificativa .....	20
1.5 Síntese metodológica .....	21
<b>2 CICLO HIDROLÓGICO URBANO.....</b>	<b>22</b>
2.1 Impactos do processo de urbanização sobre o ciclo hidrológico.....	25
2.2 Pluviometria em São Luís – Ma .....	29
<b>3 SISTEMA DE DRENAGEM URBANO.....</b>	<b>34</b>
3.1 Micro e macrodrenagem .....	34
3.2 Elementos que constituem um sistema de drenagem.....	35
3.3 Situação do sistema de drenagem de São Luís .....	38
<b>4 MEDIDAS DE CONTROLE DE ENCHENTES.....</b>	<b>40</b>
4.1 Medidas estruturais .....	40
4.2 Medidas não-estruturais .....	42
4.3 Aplicação dos indicadores .....	44
<b>5 METODOLOGIA.....</b>	<b>46</b>
5.1 Tipo de Pesquisa .....	46
5.2 Local de Estudo .....	46
5.3 Coleta de Dados .....	47
5.4 Análise dos dados através da metodologia do índice de fragilidade .....	48
5.5 Materiais e Métodos.....	52
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>53</b>
6.1 Descrição da área de estudo.....	53
6.2 Diagnóstico dos Pontos de Estudos (PE's).....	55
6.2.1 Ponto de Estudo 01.....	56
6.2.2 Ponto de Estudo 02.....	57
6.2.3 Ponto de Estudo 03.....	60
6.2.4 Ponto de Estudo 04.....	63
6.2.5 Ponto de Estudo 05.....	65

6.2.6 Ponto de Estudo 06.....	66
6.3 Análise geral dos resultados .....	68
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>74</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Canholi (2014, p. 17), “o desenvolvimento do país e o crescente progresso de urbanização, aumentaram as taxas de impermeabilização no solo, ocasionando conseqüentemente alterações no ciclo da água, sendo assim necessária a busca por medidas que proporcionem melhorias nas infraestruturas das cidades”, ou seja, o aumento das taxas de ocupação urbana desordenada provocam a redução da permeabilidade do solo, concentração das vazões máxima e aumento da velocidade de escoamento superficial, por conseguinte, o subdimensionamento dos sistemas de drenagem existentes.

Bellé (2011) enfatiza que em épocas de chuvas, as cidades passam a sofrer com os fenômenos de alagamentos e enchentes, devido à falta de planejamento do processo de urbanização que acabam gerando maiores vazões, alterando diretamente o tempo de escoamento das águas pluviais. De acordo os dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), uma das maiores deficiências do país é o saneamento básico, estando relacionado à ausência ou ineficiência de serviços públicos e infraestrutura (PINHEIRO e SILVA, 2018).

Os padrões básicos para o saneamento básico foram estabelecidos no art. Artigo 3º da Lei nº11.445/2007 e do Decreto 7.217/2010, que estabelece as normas e regulamenta as leis. Dentre os serviços de saneamento citados, destaca-se a drenagem e gestão das águas pluviais urbanas, que possui a função de escoar águas advindas das chuvas por meio de dispositivos hidráulicos. A ausência desses recursos tão essenciais é ocasionada pela inexistência de um planejamento urbano na maior parte das cidades brasileiras, gerando grandes problemas estruturais, sociais e ambientais.

É necessário também considerar a interface desse problema com as atividades de coleta de resíduos urbanos irregulares. Uma vez que há a ausência de dispositivos de descarte nas ruas e serviços de coleta de resíduos. Como essas atividades não são realizadas com regularidade, acabam ficando impossibilitadas de atender toda a população, gerando lixões a céu aberto, que com a incidência de chuva acabam sendo arrastados e tendo sua destinação final em canais e talvegues (KIPPER, 2015).

Enfrentam-se ainda dificuldades quanto à conscientização da população, que são os maiores geradores de lixo inadequados pela cidade. Primordialmente, a falta de conhecimento, preparação e incentivo da população referente as questões ambientais, acabam contribuindo para o surgimento desses problemas.

Assim como outras cidades do nordeste do país, a cidade de São Luís – MA, apresenta algumas anomalias no sistema de drenagem urbana. Esse problema está intimamente



relacionado ao crescimento urbano vertiginoso do município nos últimos anos, onde grande parte dessa expansão ocorreu e ocorre de forma desordenada, sem nenhum planejamento, afetando de forma descontrolada as áreas naturais, como por exemplo, desmatamento de áreas de forma indiscriminada, poluição de cursos d'água, erosão do solo, dentre outros problemas.

É possível verificar ainda que o município apresenta problemas na oferta de serviços básicos de saneamento. Esse fator é determinante na intensificação do mau funcionamento do sistema de drenagem, e os alagamentos passam a ocorrer com mais frequência, uma vez que o despejo das águas pluviais sempre ocorre independentemente de haver sistema adequado (TUCCI, 2012).

A proposta deste trabalho está relacionada à análise das possíveis falhas no sistema de drenagem pluvial urbana da Estrada do Pimenta no Bairro Alto do Calhau, através da adaptação e aplicação da metodologia sustentada em Indicadores de Fragilidade do Sistema (IFS) para análise dos dados coletados. Dessa forma, o objetivo principal será verificar os fatores que possivelmente interferem no funcionamento do sistema de drenagem pluvial urbana, apontando os principais componentes do sistema existente e pontos de alagamentos mais críticos do local de estudo. Posteriormente serão propostas possíveis ações e/ou modificações no sistema que possam solucionar os problemas de alagamento.

Como base para realização do estudo, foram estudados trabalhos que já realizaram a aplicação dessa metodologia em seus diagnósticos, como fonte principal o trabalho desenvolvido por Bruno Jardim da Silva da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e outros que corresponde a “Elaboração do Componente de Drenagem do Plano Municipal de Saneamento Ambiental do Município de Alagoinhas – BA”.

## **1.1 Problemática**

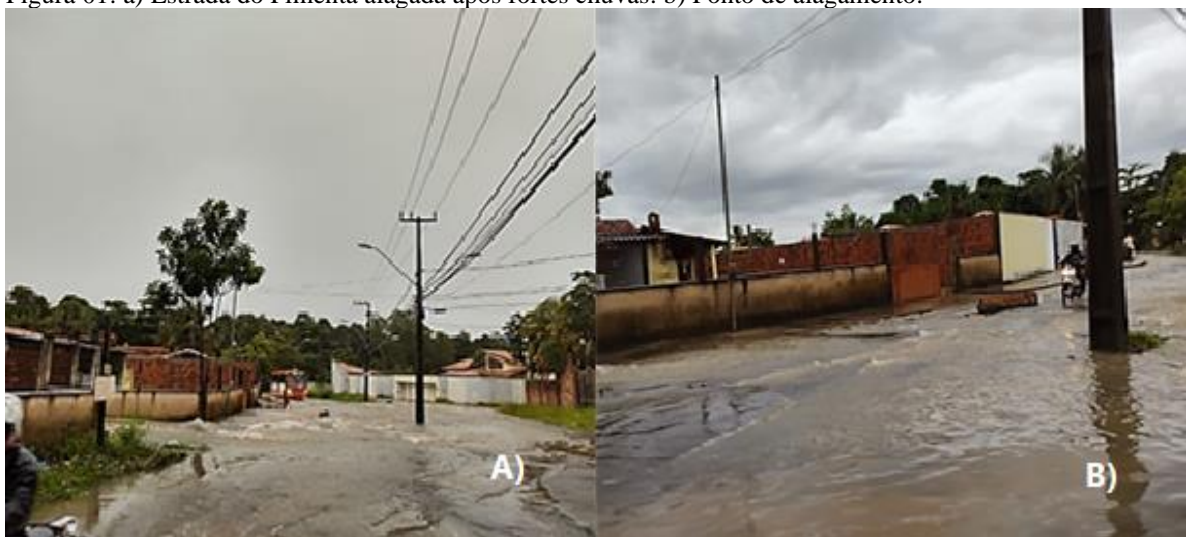
A área metropolitana de São Luís vem passando por um crescimento desenfreado na última década, é possível notar que, principalmente as regiões periféricas da capital, cresceram em um ritmo muito acelerado, em contrapartida não houve avanços na infraestrutura suficientes para reparar tal demanda.

As principais ruas e avenidas da cidade não possuem medidas eficientes de controle de enchentes para épocas de chuva. A ausência de filtração nas tubulações para drenar as águas aliada ao aumento da velocidade/tempo de escoamento das águas quando submetidos

à fenômenos temporais, acabam levando o sistema a não suportar o grande volume de água e consequente os alagamentos passam a ocorrer com mais facilidade.

O escoamento superficial na Estrada do Pimenta no bairro Alto do Calhau – MA sofreu interferências por causa da urbanização (Figura 01 e Figura 02).

Figura 01: a) Estrada do Pimenta alagada após fortes chuvas. b) Ponto de alagamento.



Fonte: Autora, (2020).

Na Figura 01, item “b)” é possível verificar problemas deixados pelas chuvas devido a impermeabilização da superfície do solo, provocados pela construção de novos condomínios residenciais, parques, estradas e ruas pavimentadas. No item “b)” consequentemente uma grande vazão e aumento da velocidade do escoamento nos sistemas de drenagem, favorecendo eventos de alagamento no local e entorno.

Figura 02: a) Situação do asfalto na referida estrada. b) Processos de erosão solo.



Fonte: Autora, (2020).

Na Figura 02, é possível visualizar os problemas causados pelo escoamento das águas pluviais, no item “a)” tem-se o comprometimento da estrutura do pavimento da estrada, dificultando o tráfego por uma das principais vias de acesso do bairro, e no item “b)” sedimentos sólidos que acabam sendo carregados pela chuva na estrada e ruas adjacentes. Normalmente os principais trechos de alagamento da estrada em questão, estão situados nos pontos mais declives da bacia.

Para avaliar a situação e/ou condições atuais da drenagem urbana, faz-se uma análise de como se encontra a funcionalidade e desempenho dos sistemas de drenagem existente na localidade e quais medidas podem ser apresentadas a fim de fomentar melhorias e desenvolvimento desse componente de infraestrutura de forma harmônica e sustentável. (SILVA *et al.*, 2004).

Diante do que fora exposto, o seguinte questionamento pode ser feito: Quais fatores interferem na funcionalidade do sistema de drenagem pluvial urbana em São Luís, que ocasionam os frequentes alagamentos no entorno da Estrada do Pimenta no bairro Alto do Calhau – MA?

## **1.2 Hipóteses**

- Incompatibilidade do dimensionamento com a demanda de chuva da região;
- Ausência de limpeza periódica das caixas boca de lobo e a falta de áreas de preservação ambiental que ajudem a infiltrar a água pluvial;
- Influência do processo de ocupação do solo de forma desordenada pela população e descaso pelos órgãos administrativos.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Geral**

Verificar os fatores que possivelmente interferem na funcionalidade do sistema de drenagem pluvial urbana na Estrada do Pimenta no bairro Alto do Calhau – MA.

### 1.3.2 Específicos

- Levantar informações do sistema de drenagem proposto, identificando os principais pontos críticos de alagamento (Pontos de Estudo - PEs);
- Verificar a influência da população e dos órgãos administrativos, quanto à falha no sistema de drenagem pluvial do local e entorno;
- Avaliar o funcionamento e eficiência do sistema de drenagem proposto, através da adaptação e aplicação da Metodologia do Índice de Fragilidade do Sistema - IFS;
- Propor possíveis ações e/ou modificações no sistema que possam solucionar os problemas de alagamento.

### 1.4 Justificativa

Tucci (2012) sustenta que o processo de urbanização aliado à falta de planejamento, levou a um aumento significativo na frequência das inundações, despertando uma preocupação crescente com o meio ambiente e os impactos/consequências produzidos no mesmo.

É possível perceber que em épocas de chuvas intensas no município de São Luís, ocorrem enchentes e inundações em vários pontos da cidade. Isso se dá devido ao crescimento desordenado da urbanização, que por sua vez, faz com que o solo natural se torne impermeável, aumentando a concentração dos fluxos de águas da chuva e conseqüentemente alteram o tempo e/ou velocidade de escoamentos pluviais. É importante salientar, que as superfícies impermeáveis, como por exemplo, o asfalto tende a absorver parte da energia solar emitida, aumentando assim a temperatura local e produzindo “ilhas de calor” na área urbana.

As águas pluviais que são drenadas nas ruas de São Luís, normalmente são captadas pelos sistemas de microdrenagem e posteriormente desaguadas nos canais dispostos na cidade. No entanto, dificilmente esses dispositivos de drenagem são dimensionados de maneira a suportar a grande demanda de água nos períodos de chuva, além disso, tem-se a ausência de manutenção desses dispositivos, culminando em possíveis obstruções e/ou entupimentos no sistema.

O dimensionamento correto do sistema, avaliando e reconhecendo o percurso do local, são medidas que permitiriam entre outras uma redução do número de enchentes no local. É válido ressaltar, que antes da aplicação dessas medidas em um sistema já existente, deve ser

definida uma base sólida de indicadores, a fim de medir a eficiência do funcionamento do sistema de drenagem urbana e por fim propor medidas eficientes para a localidade (SILVA *et al.*, 2004).

A justificativa ao desenvolvimento dessa pesquisa está associada a importância de ser ter um avanço na infraestrutura, com um sistema de drenagem ativo e eficaz, sistemas de micro e macrodrenagem projetados de acordo com a solicitação da região e que atendam a capacidade de escoamento das chuvas. Essas medidas têm em sua essência a função de coletar a água da chuva e descarregá-la rapidamente em um local adequado, podendo ser de origem preventiva ou corretiva. Nessa última são aplicadas medidas que controlem e minimizem as fontes geradoras de problemas no sistema existente.

### **1.5 Síntese metodológica**

Esta pesquisa é estruturada em sete capítulos. O primeiro capítulo é composto pela problemática que motivou a realização desse estudo bem como as hipóteses, justificativas e o objetivo principal de verificar os fatores que possivelmente interferem na funcionalidade do sistema de drenagem pluvial urbana na Estrada do Pimenta no bairro Alto do Calhau – MA.

No Segundo Capítulo, são tratados conceitos do ciclo hidrológico compreendendo os impactos da urbanização desordenada sobre o mesmo e trata ainda um estudo atualizado dos dados históricos pluviométricos de São Luís – MA. O terceiro aborda conceitos importantes do sistema de drenagem urbano envolvendo definições de micro e macrodrenagem e os elementos desse sistema, sendo apresentada ainda a atual situação do sistema de drenagem de São Luís - MA, o uso, ocupação desordenada e a problemática dos resíduos sólidos na cidade, bem como a falta de manutenção das estruturas de drenagem existentes.

No quarto capítulo são estudadas as medidas de controle de enchentes relacionadas às estruturais, medidas não-estruturais e aplicação de indicadores para identificação e solução desses problemas, sendo esse último o foco principal do presente trabalho. Em seguida, o quinto capítulo apresenta a metodologia empregada nesta pesquisa, apresentando de forma detalhada o local de estudo, bem como as ferramentas de coleta de dados e método de análise dos pontos críticos estudados.

Em sexto são apresentados os resultados, a situação encontrada em cada ponto crítico do local de estudo e a análise geral da situação atual do sistema existente, bem como propostas de possíveis ações para solucionar os problemas pontuados. No sétimo capítulo, são dadas ao trabalho as considerações finais.

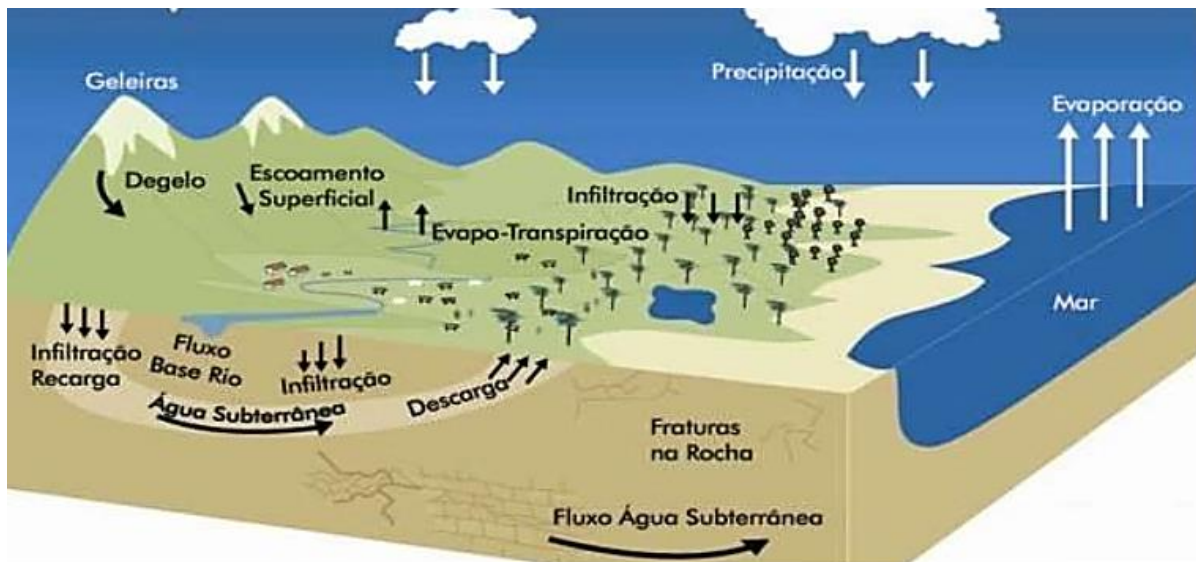
## 2 CICLO HIDROLÓGICO URBANO

De acordo com Tucci (2012, p. 35), “o ciclo das águas pode ser determinado pelo movimento circular contínuo fechado da água, produzido pela energia solar junto à gravidade e a rotação terrestre”. Diante do exposto, fica compreensível que existem três fatores que estão diretamente ligados e que atuam no ciclo das águas, são eles: energia do sol, gravidade e rotação.

O ciclo hidrológico é fechado, representa o movimento da água no nosso planeta. A fonte de energia fundamental é o Sol, que, através da radiação infravermelha, fornece grandes quantidades de calor, absorvidas pela atmosfera e pela superfície do planeta. Quanto ao volume disponível de água, é praticamente constante (MIGUEZ *et al.*, 2016, p. 26).

Dessa forma, é possível verificar a concordância de Miguez *et al.* (2016), quando ele afirma que o ciclo hidrológico depende da circulação fechada da água presente nos oceanos, na superfície, no solo e na atmosfera, motivada através da precipitação, da infiltração nos aquíferos, da evaporação dos oceanos e das reservas de água, além da evapotranspiração da vegetação (Figura 03).

Figura 03: Fluxograma com os processos ocorridos devido à urbanização.



Fonte: SILVA, (2016, p. 17).

Na Figura 03, pode-se observar os elementos que compõem o ciclo hidrológico de forma mais clara, dentre eles cita-se a precipitação, infiltração, o escoamento superficial e a

evaporação de superfícies líquidas e da água do solo, como sendo os componentes de grande relevância à temática abordada no decorrer deste trabalho.

Ainda relacionado aos processos/fases do ciclo hidrológico, segundo Paz (2004), citado por Bellé (2011), podem ser abordados da seguinte maneira:

- a) Evaporação dos oceanos conjunta a formação do vapor de água;
- b) O vapor precipita formando chuva, neve ou granizo, devido a contribuição de algumas condições climáticas,
- c) Parte dessa precipitação é evaporada, não atingindo, portanto, a superfície terrestre;
- d) Da parte excedente da precipitação, ao atingir a superfície terrestre, uma parcela infiltra no solo e a outra segue para ser escoada pela superfície diretamente nos rios, lagos e oceanos. Durante este processo, há ainda um percentual fica retido na cobertura vegetal que posteriormente é eliminada na forma de vapor d'água, através da fotossíntese.
- e) Uma parcela infiltrada acaba percolando e atingindo os aquíferos, ocasionando o escoamento subterrâneo que deságuam em rios e lagoas;
- f) A água chega aos rios através do escoamento superficial ou subterrâneo, ou até mesmo pela precipitação direta, deságua em lagos e oceanos, por meio da gravidade se renovando a cada ciclo.

O mesmo autor ressalta que a água presente no ciclo se encontra em movimento contínuo, passando pelo processo de evaporação em todas as etapas, devido a isso não se pode afirmar que o ciclo hidrológico tem um começo, um meio e um fim preestabelecidos. Todavia, devido questões didáticas, ficou-se esclarecido que o processo é iniciado pela evaporação dos oceanos. Basílio Neto (2018, p. 17), afirma que “a evaporação dos oceanos é a maior fonte de vapor para a atmosfera e para a posterior precipitação, mas a evaporação de água dos solos, dos rios e lagos e a transpiração da vegetação também contribuem.”

No diz respeito à fase terrestre, o elemento fundamental de análise do ciclo das águas são as bacias hidrográficas. Sendo essas responsáveis pela captação natural das águas pluviais (advindas das precipitações), e direcionamento dessas através de escoamentos para a exutório da bacia, seu destino final/descarga (MIGUEZ *et al.*, 2016).

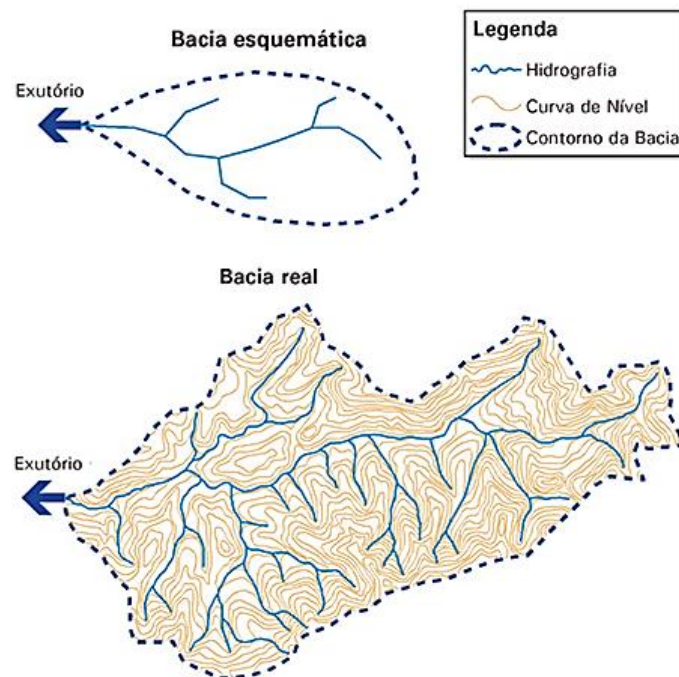
De acordo com Basílio Neto (2018, p. 21-22):



A definição de uma bacia hidrográfica requer a definição de um curso d'água, de um ponto ou seção de referência ao longo deste curso d'água e de informações sobre o relevo da região. Uma bacia hidrográfica pode ser dividida em sub-bacias e cada uma das sub-bacias pode ser considerada uma bacia hidrográfica.

Dessa forma a bacia hidrográfica é considerada por muitos autores um sistema físico submetido aos eventos de precipitação (causando as entradas de água no seu interior) gerando o escoamento superficial, subsuperficial e evapotranspiração (sendo esses os meios de saídas de águas da mesma). São constituídas por elementos da drenagem que mantêm o nível de água através das precipitações e características do terreno, solo, desnível geométrico, matas ciliares e vegetações de cobertura e os percursos dos escoamentos são delimitados pelos divisores de água (KIPPER, 2015). Na Figura 04 é possível verificar a representação esquemática de uma bacia hidrográfica, bem como uma versão real da mesma.

Figura 04: Representação esquemática e real de uma bacia hidrográfica.



Fonte: MIGUEZ *et al.*, (2016, p. 28).

Ainda com relação às características básicas de uma bacia (Figura 04), de acordo com Basílio Neto (2018), em função do relevo são:

- a) Área;
- b) Comprimento da drenagem principal; e
- c) Declividade.



As precipitações que dão origem ao escoamento superficial das águas pluviais. Parte da água da chuva é interrompida pela retenção da vegetação e outros obstáculos encontrados no relevo, e posteriormente evapora por meio da fotossíntese. O funcionamento da interceptação e a da acumulação da água, seja na vegetação ou relevos, são meios essenciais para contribuir com a redução da velocidade e tempo de escoamento superficial e a infiltração torna-se mais constante (SANTOS JÚNIOR, 2013).

Porém, com o processo de ocupação das cidades, esse percurso natural das águas pluviais passou a ser substituído e guiado pelo traçado das ruas impermeabilizadas, resultando em graves alterações no comportamento do escoamento superficial.

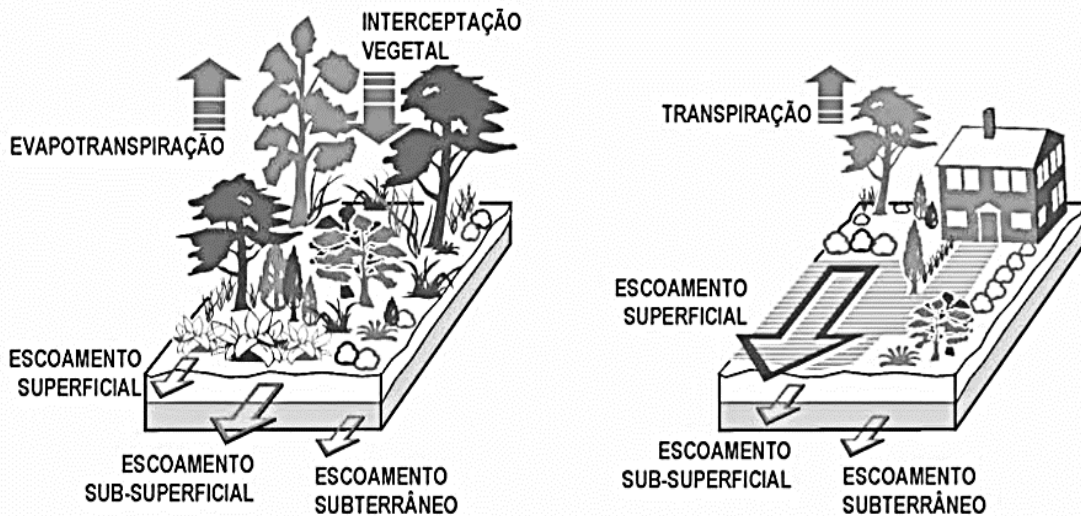
### **2.1 Impactos do processo de urbanização sobre o ciclo hidrológico.**

No Brasil, o desenvolvimento a urbanização e as consequentes mudanças no ciclo hidrológico produziram uma série de efeitos negativos, muitos lugares sofrem com alagamentos e inundações, que ocorrem devido à impermeabilização de áreas de escoamento natural e déficit no sistema de drenagem (SANTOS JÚNIOR, 2013). Bellé (2011) enfatiza que tal fato ocorre, principalmente, quando a população faz ocupação de áreas ribeirinhas com ausência de planejamento urbano, danificando dessa forma a infraestrutura local.

De acordo com o exposto acima, Tucci (2012), acrescenta que as enchentes, inundações e alagamentos causados pela ocupação desorganizada das áreas de escoamento, ocorrem devido à retirada de cobertura vegetal do solo, ocasionando grandes áreas superficiais impermeabilizadas do solo, resíduos sólidos e obstrução dos dispositivos de drenagem.

A urbanização altera as características de uma bacia, provoca transformações na vegetação e no caminho que percorre a água, além de mudar as cotas de um terreno e seu relevo. Em consequência disso, ocorrem mudanças no solo e na velocidade e vazão da água (KIPPER, 2015). Isso se agrava mais ainda, quando relacionada a um serviço de coleta de resíduos sólidos ineficiente e conduta indisciplinada dos cidadãos.

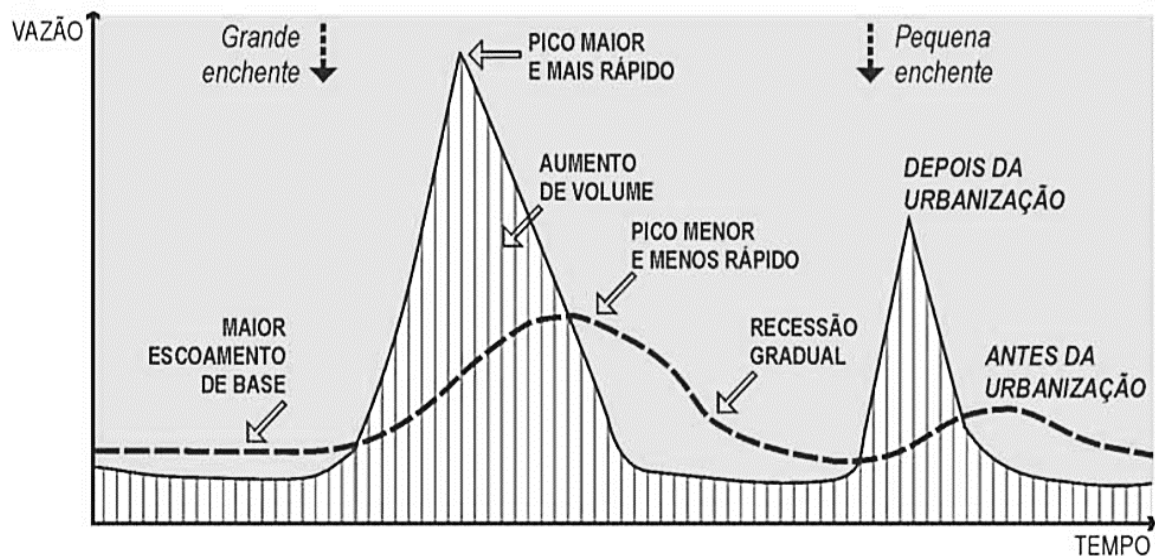
Figura 05: Esquema das alterações no balanço hídrico, decorrentes da urbanização.



Fonte: MIGUEZ *et al.*, (2016, p. 71).

A Figura 05 ilustra as mudanças provocadas no ciclo hidrológico urbano, sendo possível verificar o efeito da retirada da cobertura vegetal do solo, diminuindo o escoamento subterrâneo, uma vez que há a diminuição das taxas de infiltração (capacidade de absorção) das águas pluviais e consequente concentração e aumento da velocidade de escoamento superficial destas. Na Figura 06 abaixo é possível visualizar as modificações no solo e suas consequências em termos de hidrogramas.

Figura 06: Modificações no solo e suas consequências em termos de hidrogramas.

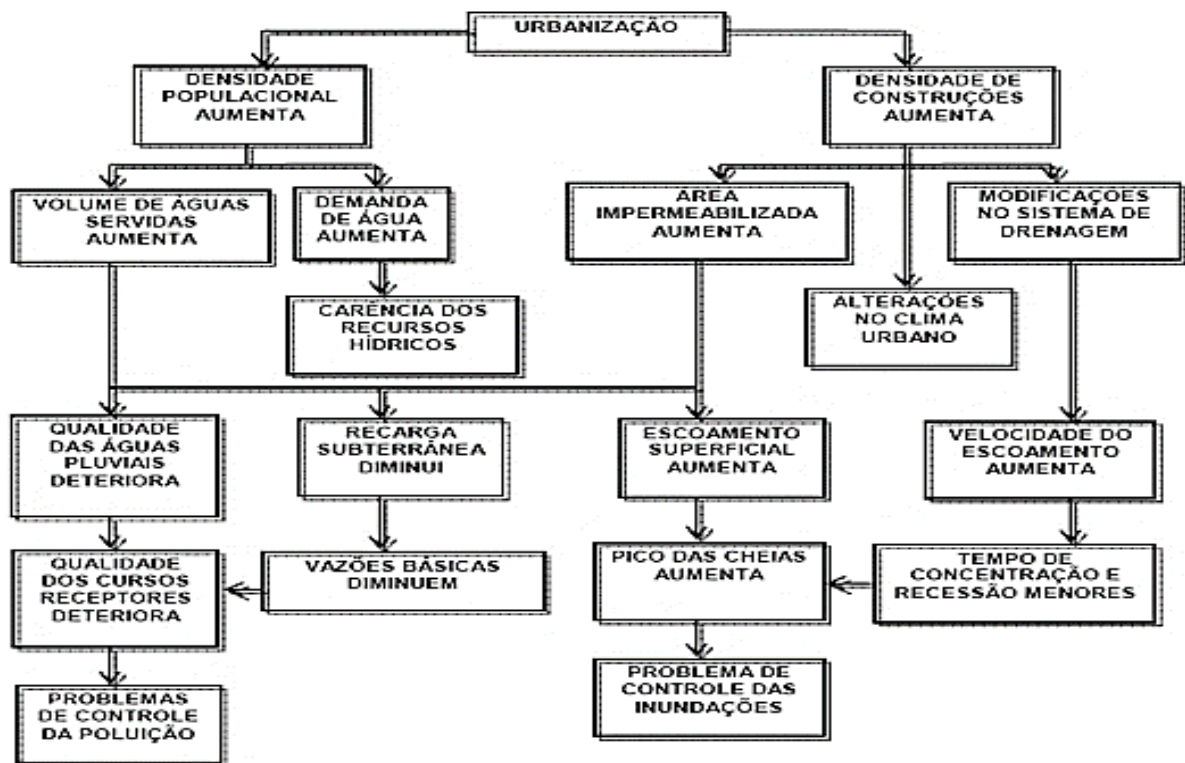


Fonte: MIGUEZ *et al.*, (2016, p. 71).

Ainda com relação à Figura 06, é possível verificar a relação entre o fluxo (vazão) para cada bacia hidrográfica (antes e depois da urbanização) e a velocidade de escoamento superficial (Relação vazão versus tempo de escoamento). É possível verificar as alterações que ocorrem no ciclo hidrológico urbano, onde quanto maior a parcela de solo impermeável, maior e mais rápido será o pico de vazão de cheias, os alagamentos passam a ocorrer com mais frequência na jusante das cidades.

Para Tucci (2012, p. 8), “o desenvolvimento urbano brasileiro das últimas décadas é marcado pelo crescimento desordenado e acelerado da população”. As consequências da falta de sustentabilidade da expansão urbana têm sido o aumento considerável na frequência dos alagamentos, inundações, na deterioração das águas, produção de sedimentos e principalmente perda do bem-estar e saúde da população. Na Figura 07 é apresentado um fluxograma com os impactos gerados pela urbanização com todo o processo de modificação da bacia natural.

Figura 07: Fluxograma com os processos ocorridos devido à urbanização.



Fonte: STEINER, (2011, p. 23).

Ainda com relação aos processos ocorridos devido a urbanização (Figura 07), para Steiner (2011, p. 24), no decorrer desse processo ocorre o crescimento de impermeabilização superficial da bacia, substituição da cobertura vegetal por pavimentos impermeáveis, como

asfalto e concreto tornando um solo permeável em um solo impermeável, resumindo os impactos gerados da seguinte forma:

- a) redução da infiltração no solo;
- b) aumento considerável do escoamento superficial;
- c) redução do escoamento subterrâneo;
- d) redução da evapotranspiração.

Ainda segundo a mesma autora, “os impactos decorrentes da urbanização tendem a aumentar a necessidade e capacidade dos dispositivos condutores do sistema de drenagem á vista disso aumentando os seus custos” (STEINER, 2011, p. 21). Em outras palavras, o impacto causado pela urbanização levou à necessidade da implementação de medidas de controle de enchente. Infelizmente, na maioria dos casos, o poder público responsável ignora essa necessidade, ocasionado à inexistência de um planejamento urbano na maior parte das cidades brasileiras.

Em decorrência disto, os elementos de drenagem são sobrecarregados com o aumento da vazão de águas pluviais, conduzindo a inúmeros problemas para a sociedade, que podem ir desde a desvalorização das propriedades locais e do entorno até problemas de saúde pública da mesma.

As conseqüências foram críticas para o funcionamento das cidades. Na primeira metade do século XIX, a cidade industrial padece com inúmeros problemas, incluindo questões de saneamento, mobilidade e habitação. O núcleo original das cidades não comporta a necessidade de aumento de moradias, as ruas são demasiado estreitas, formam-se um tecido urbano compacto, carente de infraestrutura e externamente deficiente em termos de saneamento. A conseqüência se reflete não apenas em graves problemas de saúde pública, mas também em epidemias (MIGUEZ *et al.*, 2016, p. 5-6).

O controle desses fatores que influenciam no sistema é de extrema importância e como abordado nos parágrafos acima, depende de iniciativas do governo nos setores de habitação e saneamento básico. A solução encontrada para minimizar o problema recai na captação, na condução e na descarga rápida dos esgotos e águas pluviais. “Controle da fonte, atuando nos causadores das cheias e focando em medidas de preservação e infiltração, surgiu como uma nova opção no final da década de 1970” (MIGUEZ *et al.*, 2016, p. 6).

## 2.2 Pluviometria em São Luís – Ma

Dentre os processos que ocorrem no ciclo hidrológico, a precipitação atmosférica constitui-se como um dos elementos primordiais para o estudo da caracterização temporal e espacial do fenômeno das chuvas. De acordo com Amorim (2011, p.02) “Após um evento chuvoso as águas pluviais desenvolvem um processo de escoamento seguindo o curso de drenagem das áreas de maior altimetria para as áreas mais baixas, provocando diversas vezes escorregamento de encostas e alagamentos de ruas”.

O estudo de caracterização pluviométrica em determinado espaço, tendo em vista as mudanças provocadas no mesmo, é essencial para a tomada de decisões e a formulação de medidas de planejamento que visem reduzir os efeitos negativos dos fenômenos pluviométricos e contribuir na determinação das regiões específicas que necessitam da implementação dessas intervenções. Dessa forma, foi realizado um estudo pluviométrico da cidade de São Luís com o objetivo de verificar e compreender o comportamento das chuvas locais, porém os dados pluviométricos encontrados não serão utilizados para efeitos de cálculos de dimensionamento nessa pesquisa.

De acordo com a classificação climática de São Luís – MA, proposta pela Koppen e citado por Santos (2009, p. 02):

O clima ludovicense, é da categoria AWW’, em que A é do tipo tropical úmido com altas temperaturas, W constitui estação seca definida e W’ apresenta precipitações acentuadas no verão-outono. Desta forma, a cidade apresenta um clima do tipo Tropical Úmido com duas “estações” bem delimitadas ao longo do ano, uma chuvosa, no período de janeiro a junho e outra seca, no semestre que se estende de julho a dezembro.

Segundo o mesmo autor, são perceptíveis as transformações climáticas que a capital do Maranhão vem sofrendo nas últimas décadas. Esse fator ocorre devido principalmente, a expansão desordenada do espaço urbano de São Luís, causada pelo processo de impermeabilização sem planejamento com advento de novas construções residências e comerciais e pavimentação das vias, modificando principalmente as médias térmicas e o direcionamento dos ventos em pontos localizados da cidade, formando o que os climatologistas chamam de microclimas.

Ainda com relação às características climáticas da cidade de São Luís, o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2013) afirma:

A topografia suave e os demais fatores como a insolação, a latitude e a maritimidade, agem com os sistemas regionais de circulação atmosférica, provocando pouca variabilidade térmica anual. A Normal Climatológica para São Luís indica que a temperatura média compensada de menor temperatura ocorre no mês de julho com 25,6°C e a de maior temperatura média compensada no mês de dezembro de 26,9°C, portanto, uma diferença de variabilidade anual de apenas 1,3°C. A sua pluviosidade, porém, é bem demarcada por períodos de intensa ocorrência entre os meses de janeiro a junho e de quase total estio nos meses de julho a dezembro.

É imprescindível a relevância do entendimento das reações pluviométricas nas atividades econômicas e sociais do país. São Luís é a cidade que concentra a maior parcela de habitantes do estado, a densidade demográfica é de 1215,69 habitantes por km<sup>2</sup>, com uma população estimada de 1.108.975 (IBGE, 2020).

Santos (2009, p. 02) faz as seguintes observações quanto as reações pluviométricas da capital maranhense:

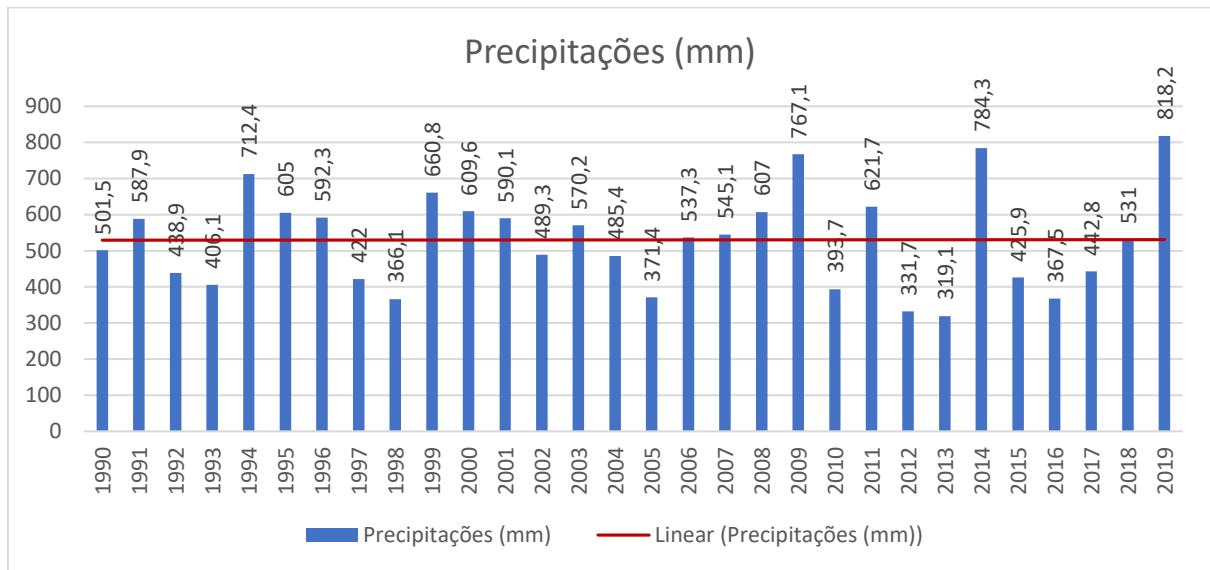
As médias pluviométricas totais anuais variam entre 1.800mm e 2.000mm. O mês que concentra as maiores precipitações é abril e o que apresenta menor índice pluviométrico é outubro. As temperaturas são altas durante todo o ano e variam em média entre 23° e 30°C. A amplitude térmica diária é baixa, devido principalmente aos fatores como baixa latitude e a proximidade com o oceano, fazendo com que não haja uma variação de temperatura acentuada entre o dia e a noite.

Para análise da pluviometria da cidade de São Luís, foram colhidos dados das Estações Pluviométricas da Agência Nacional das Águas em Operação, Bacia 3 - Atlântico, Trecho Norte/Nordeste, SubBacia 33 – Rios Mearim, Itapecuru e outros, Código 00244006, nome da estação é São Luís, latitude -2.8833, longitude -44.35, altitude 50.86 metros (Conforme Anexo 01). O Anexo 02 apresenta os dados das séries históricas da pluviometria na cidade de São Luís em cada mês do ano, durante o período compreendido entre janeiro de 1990 a junho de 2019.

Analisando o Anexo 02, é possível observar além do comportamento pluviométrico da cidade, as médias mensais durante um período de 30 anos e o mês que apresentou a máxima precipitação mensal foi março, com uma média de 437,5 mm.

Durante o referido período, o ano que apresentou a precipitação máxima foi o de 2019 (compreendendo um período de janeiro a junho desse ano, sendo esses os meses que mais chovem no Estado), onde apenas no mês de março apresentou uma precipitação de 818,2mm (Gráfico 01).

Gráfico 01: Precipitações máximas entre 1990 e 06/2019 em São Luís – MA.

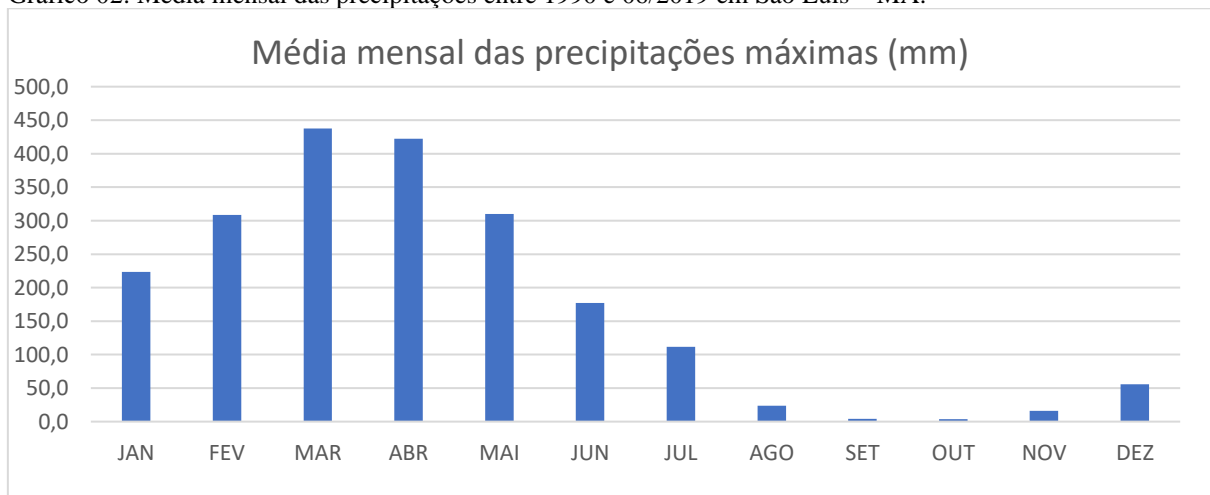


Fonte: Adaptado de ANA, (2020).

No Gráfico 01, tem-se a máxima precipitação dos últimos 30 anos e, também, a precipitação máxima média entre esse período, que foi de 530 mm, mostrando que mais da metade dos anos estiveram acima da média de máxima precipitação. Relacionando com a Anexo 02 (dados pluviométricos), observa-se que o mês de março, com as máximas nos anos 1991, 1992, 1993, 1994, 1998, 1999, 2003, 2012, 2013, 2015, 2017 e 2019. Abril em segundo lugar, apresenta as maiores máximas nos anos de 1995, 1996, 1997, 2000, 2001, 2002, 2005, 2006, 2008, 2009, 2010, 2011 e 2016 e 2018.

Abaixo, o Gráfico 02 representa a média das precipitações mensais durante os últimos 30 anos disponibilizados no banco de dados da ANA – Agência Nacional de Águas.

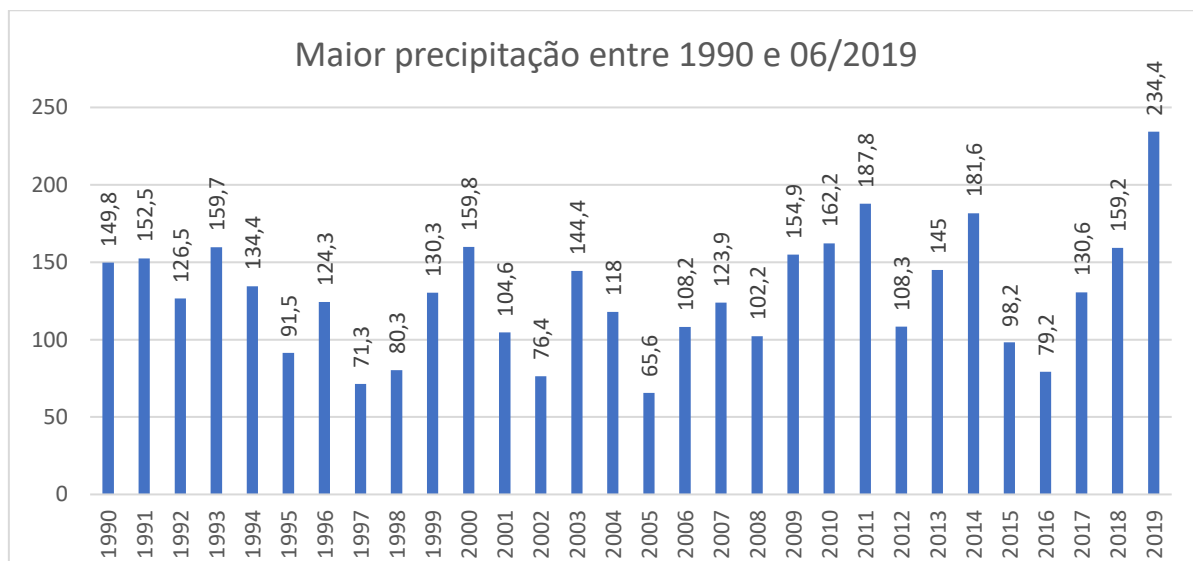
Gráfico 02: Média mensal das precipitações entre 1990 e 06/2019 em São Luís – MA.



Fonte: Adaptado de ANA, (2020).

No referido gráfico, é possível perceber que há uma confirmação das características do clima tropical equatorial, uma vez que se vê, de forma clara, que o período chuvoso em São Luís tem início no começo ou final de cada ano e dura até junho, meados de julho, quando começa a apresentar uma queda nas chuvas gradativamente tendo, em seguida, um período de estiagem.

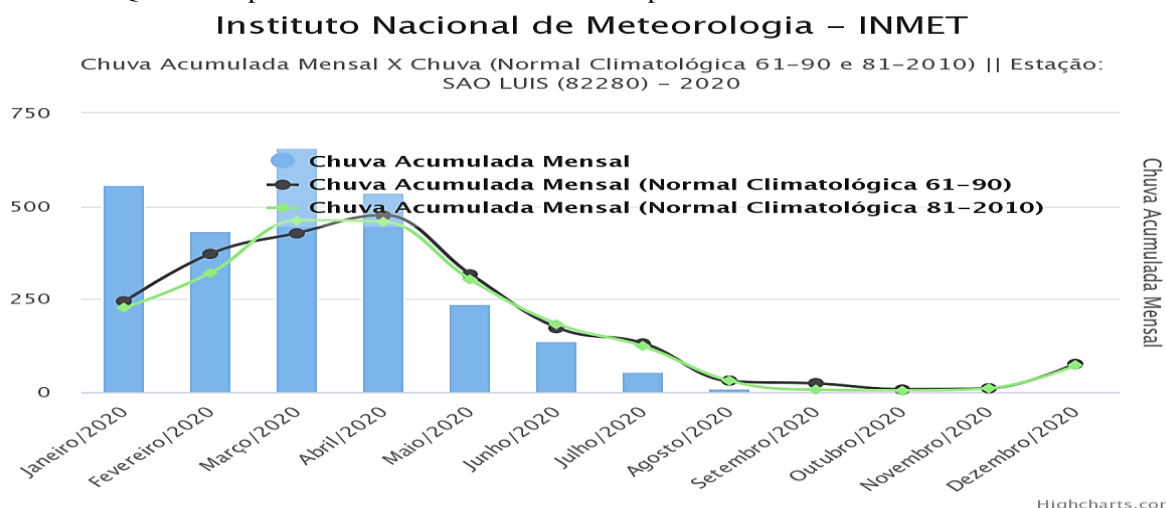
Gráfico 03: Maior precipitação entre 1990 e 06/2019 em São Luís – MA



Fonte: Adaptado de ANA, (2020).

No Gráfico 03, é possível visualizar as maiores precipitações nos últimos 30 anos, onde o ano que apresentou a maior chuva foi 2019, com 234,4 mm e o que apresentou menor foi 2015, com 65,6mm. A média entre as maiores precipitações é de 128,8 mm e apenas 50% dos anos ficaram abaixo da mesma.

Gráfico 04: Quantidade pluviométrica de chuvas acumuladas para o ano de 2020 em São Luís



Fonte: INMET, (2020).



No Gráfico 04, é possível visualizar a quantidade pluviométrica de chuvas acumuladas para o ano de 2020 em São Luís até o mês de agosto, quando fora realizada a coleta do dado. Apresenta um aumento exorbitante do acúmulo de chuvas em relação ao ano de 2019, com um aumento principalmente nos meses de janeiro e abril e manteve nível elevado de acumulação de chuva no mês de março.

### 3 SISTEMA DE DRENAGEM URBANO

O escoamento pode ter seu ponto final em rios, lagos ou oceanos, de forma natural, ou reservatórios, de forma artificial. O sistema de drenagem tem a função de realizar o recolhimento e o escoamento das águas de áreas encharcadas, por meio de dispositivos como tubulações, canais, valas e fossas, para locais de desague natural ou artificial (SANTOS JÚNIOR, 2013).

Drenagem é um conjunto de medidas que além de reduzir o agravo ocasionado por inundações, deve proteger a população e proporcionar a urbanização de forma harmônica, rápida e sustentável, não podendo ser restringidas apenas pelo aspecto técnico cobrado pela engenharia (TUCCI, 2012).

É importante salientar, que a Lei Federal 11.445/2017 “prevê os serviços que devem ser prestados no sistema de drenagem pluvial com base em princípios básicos, como universalização do acesso com os demais serviços de saneamento” (MIGUEZ *et al.*, 2016, p. 10).

Existe ainda o plano diretor no âmbito municipal, que deve conter a metodologia do sistema de drenagem adequado para atender a infraestrutura de determinada cidade. Portanto, o sistema de drenagem é consolidado através de um gerenciamento, por meio das “atividades de elaboração de planos diretores, projetos e implantação de sistemas de redução de risco” (SILVA, 2014 p. 02). Porém, o autor afirma que:

Os planos diretores de drenagem urbana, na maioria das vezes, são elaborados com metodologia que não consideram as realidades sócio-ambiental e institucional local, não considerando o sistema de drenagem como parte de um complexo ambiente urbano que deve estar articulado com outros sistemas (SILVA *et al.*, 2004, p.01).

Neste tópico serão apresentados os elementos e componentes que formam o sistema de drenagem urbana, para que esta atenda a regulamentação e legislação de infraestrutura.

#### 3.1 Micro e macrodrenagem

Os sistemas de drenagem pluvial urbana englobam dois subsistemas, que são a micro drenagem e macrodrenagem. Tucci (2012, p. 22) os define como “sistemas distintos

planejados e projetados obedecendo a critérios distintos um do outro, que participam de forma articulada no plano de desenvolvimento urbano”.

Pode-se entender a microdrenagem como um sistema de condutos que tem a finalidade de captar e transportar (escoar) as águas pluviais, seja esta dos telhados, lotes, ruas e outros mais, em meio as áreas urbanas, onde os elementos de microdrenagem são basicamente definidos pelos traçados das ruas e composto pelas sarjetas, bocas de lobo, galerias pluviais e pequenos canais (MIGUEZ *et al.*, 2016, p. 12). Nesse sistema os escoamentos em fundo de vale normalmente são bem definidos.

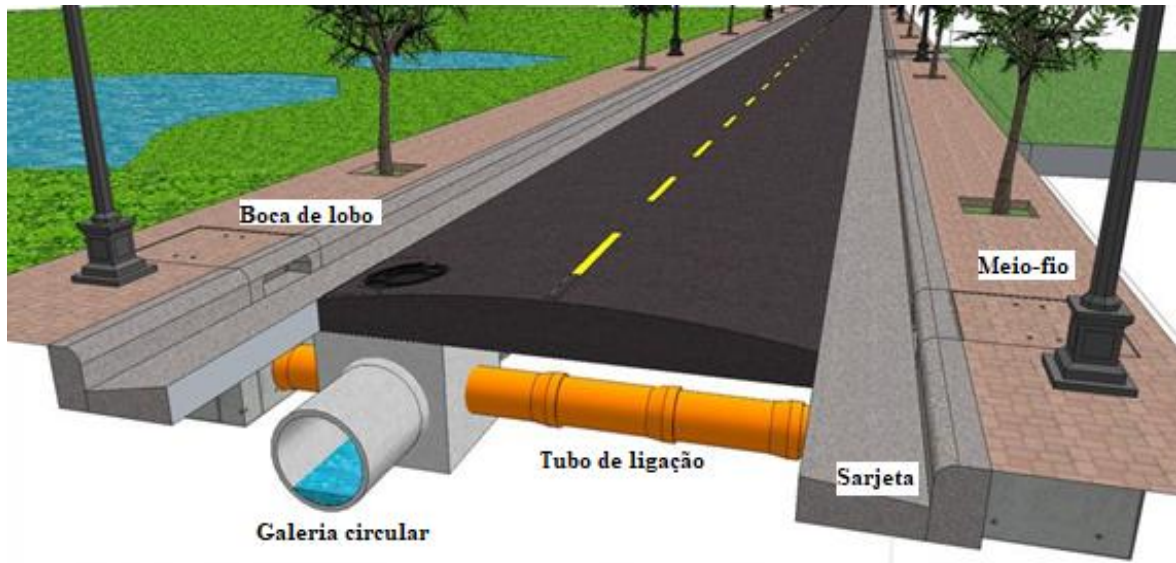
A macrodrenagem corresponde a redes de maior porte, que recebe águas já concentradas. Segundo Silva (2016, p. 23) a mesma “está relacionada com a drenagem natural, pré-existente ao processo de urbanização, formada por córregos e rios, situados nos talwegues”. Normalmente a microdrenagem aplica-se em áreas onde o escoamento natural não é bem definido.

Ainda segundo o autor, esse sistema recebe obras que modificam e/ou complementam os caminhos naturais das águas pluviais. Atuam como os principais dispositivos de vazão de uma bacia e tem a finalidade de agrupar e dar destinação final as águas coletadas na microdrenagem. O dimensionamento do sistema de macrodrenagem deve ser projetado com capacidade superior aos de micro drenagem.

### **3.2 Elementos que constituem um sistema de drenagem**

De acordo com Bellé (2011), os gerenciamentos das águas pluviais, podem ser aplicados em duas vertentes, estando uma relacionada a medidas não estruturais, como mapeamento das áreas de risco, desenvolvimento e aplicação de programas de conscientização e planejamento urbano correto do zoneamento local. A outra vertente, está relacionada a medidas estruturais, que corresponde as estruturas de engenharia como sarjetas, bocas de lobo e galerias, como pode ser visualizado na representação da Figura 08. Nesse tópico serão tratados alguns elementos importantes das medidas estruturais, composta pelos sistemas de micro e macro drenagem.

Figura 08: Representação de alguns elementos de micro e macrodrenagem.



Fonte: Adaptado de Moraes, (2015, p. 04).

Nesse tópico serão tratados alguns elementos importantes das medidas estruturais, composta pelos sistemas de micro e macro drenagem, alguns desses elementos podem ser visualizados na Figura 08. O Quadro 01 apresenta as descrições e funções dos principais elementos do sistema de drenagem pluvial.

Quadro 01: Descrição funções dos componentes do sistema de drenagem pluvial.

<b>Componentes</b>	<b>Descrição e funções</b>
Galeria	Canalizações que conduzem as águas pluviais provenientes das bocas-de-lobo e das ligações privadas
Poço de Visita	Dispositivos localizados em pontos convenientes do sistema de galerias que permitem mudança de direção, de declividade, de diâmetro e inspeção e limpeza das canalizações
Trecho	Porção de galeria situada entre dois poços de visita
Boca-de-lobo	Dispositivos que captam águas pluviais transportadas pelas sarjetas
Tubos de Ligações	Canalizações que conduzem as águas pluviais captadas nas bocas-de-lobo para as galerias ou poços de visita
Meio – Fio	Elementos de concreto, assentados entre passeio e a via pública, paralelamente ao eixo da rua
Sarjetas	Faixas de via pública, paralelas e vizinhas ao meio-fio. A valeta formada é a receptora das águas pluviais que caem sobre as vias públicas e que para elas escoam
Sarjetões	Calhas localizadas nos cruzamentos de vias públicas, formadas pela sua própria pavimentação e destinadas orientar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas
Condutos forçados	Obras destinadas à condução das águas superficiais coletas, sem preencher completamente a seção transversal dos condutos
Estações de bombeamento	Conjunto de obras e equipamentos destinados a retirar água de um canal de drenagem, quando este não possui mais condição de escoamento por gravidade

Fonte: Adaptado de Steiner, (2011, p. 28).

Ainda relacionado aos principais elementos (Quadro 01) utilizados no sistema de drenagem pluvial, Botelho (1998, p. 19) citado por Bellé (2011), os conceitua da seguinte forma:

**Meio-fio:** Também conhecido como guias, o meio-fio é uma faixa longitudinal responsável pela separação do passeio com a rua. Geralmente é confeccionado a partir de concreto simples ou pré-moldado;

**Sarjetas:** As sarjetas são instaladas de forma paralela ao meio-fio e tem a função de escoar as águas pluviais em estradas, ruas e avenidas. Esses elementos podem ser fabricados a partir do concreto simples, moldado “in loco”, normalmente devem estar em um nível mais baixo que o leito;

**Sarjetões:** Estes dispositivos podem ser caracterizados como rasgos transversais destinados a conectar as sarjetas e guiar os efluentes destas para os pontos de coleta.

**Caixas Boca de Lobo:** Elemento destinado a realizar as captações de águas pluviais, sendo estas, responsáveis por captar principalmente a água ao longo das sarjetas. Há ainda como fazer o recolhimento da água verticalmente pela guia chapéu, onde fica situada no leito da rua com tampa tipo grelha (boca de leão).

**Tubos de ligação:** Este sistema de drenagem tem a função de escoar a água das caixas bocas de lobo até a canalização principal (galerias e/ou poços de visita).

**Poços de Visita:** são pontos locados estrategicamente, ao longo dos trechos de galerias com a função de permitir que haja inspeção, a limpeza, desobstrução das mesmas. Esse dispositivo pode ser instalado em cruzamento de ruas permitindo a mudança de direção da tubulação, no aumento de diâmetro, na mudança de declividade.

**Galerias:** São canalizações destinadas a conduzir as águas que são coletadas pelos implementos de captação.

**Rampas e escadarias hidráulicas:** dispositivos que têm a finalidade de conduzir as águas localizadas em um ponto mais alto para outro mais baixo. Quanto ao regime de escoamento, nas rampas o escoamento permanece contínuo, enquanto nas escadarias o escoamento é descontínuo devido aos degraus.

**Dispositivos de escoamento de água pluviais nos córregos ou rios:** as águas pluviais ao chegarem nos rios e córregos, não devem causar perturbações ou erosões no corpo receptor, para isto, são utilizados os elementos de chegada de águas pluviais, de modo que minimizam esses efeitos.

### 3.3 Situação do sistema de drenagem de São Luís

Segundo o Plano Diretor da cidade de São Luís (2011), o sistema de drenagem urbana da capital maranhense encontra-se em situação crítica, devido ao aumento da urbanização nas últimas décadas, falta de infraestrutura e atuação mais rigorosa do poder público sobre o planejamento de “uso e ocupação do solo” no município de São Luís.

Na cidade de São Luís do Maranhão, além de suas características inerentes ao posicionamento geográfico, destacam-se outros elementos na criação de um ambiente com características peculiares, projetadas pela forma de ocupação e uso do solo urbano ao longo de várias décadas, ocasionando um "crescimento" desmedido, o que, em certos aspectos, como, por exemplo, a falta de infraestrutura urbana adequada (ARAÚJO; NUNES, 2005, P. 107).

A enorme busca por moradia e outros serviços básicos, derivados do grande fluxo de pessoas, de acordo com Silva (2016, p.27) incentivaram a expansão territorial das cidades. Em decorrência desse êxodo rural, milhões de pessoas migraram dos campos para as cidades sem que houvesse gestão pública eficiente no estado.

O mesmo autor afirma ainda que resultante deste processo a população ludovicence passou a ocupar:

- a) Ocupação na área marinha, entre o continente e os manguezais;
- b) Ocupação por subnormais no mangue;
- c) Implantação em aterros, sobre o mangue estabelecido por moradores das palafitas;
- d) Edificações sobre os manguezais aterros dando origem a um ambiente urbanizado e consolidado.

Durante muitos anos, muitos loteamentos foram liberados e foram construídas edificações sem considerar a implantação de infraestrutura adequada para o ambiente. Devido à falta de fiscalização houve grande ocupação pela população nas margens de canais e fundos de vale.

As alterações na dinâmica da paisagem devem ser avaliadas correlacionando-se a especulação imobiliária, com o conseqüente processo de verticalização e a ineficácia do planejamento para o uso e ocupação do solo. Como consequência dessa ocupação desordenada tem-se a ocorrência de erosão (provocada pelas águas do escoamento superficial), os escorregamentos nas encostas dos morros (que também comprometem seriamente a infraestrutura existente), e a alteração do microclima (desenvolvido pelo processo de urbanização na área), a retirada de matas ciliares, a remoção das dunas, além do aumento da contaminação da água pelos resíduos sólidos e líquidos (MASULLO; SANTOS, 2014, p. 6).

A partir dessas interferências surge o aumento da vazão do escoamento superficial nas bacias hidrográficas, maior frequência dos alagamentos, erosão do canal e no aumento da geração de sedimentos. Ocorre ainda, alterando o regime da temperatura local, redução na infiltração do lençol freático, com picos de alagamentos maiores e fluxos d'água inferiores (ARAÚJO; NUNES, 2005).

Quanto aos resíduos sólidos no sistema de drenagem das águas pluviais da capital é possível verificar a sua presença em grande maioria dos cursos d'água e canais existentes na cidade, gerando obstruções e alterações no escoamento da água e conseqüentemente o aumento na incidência de inundações.

É necessário também considerar a interface desse problema com as atividades de coleta de resíduos nas cidades. Uma vez que há a ausência de dispositivos de descarte nas ruas e serviços de coleta de resíduos. Como as atividades de coleta não são realizados de forma contínua, se torna insuficiente para atender toda a população, gerando lixões a céu aberto, com a incidência de chuva acabam sendo arrastados tendo como destinação final canais e talvegues (KIPPER, 2015).

Enfrenta-se ainda dificuldades quanto a conscientização da população, que são os maiores geradores de lixo inadequados pela cidade. Primordialmente, a falta de conhecimento, preparação e incentivo da população referente as questões ambientais, acabam por tornar os canais e talvegues como lixões para a destinação dos resíduos gerados.

A Prefeitura de São Luís enviou nota sobre episódios ocorridos na capital maranhense ao G1 Maranhão, no ano de 2017:

A Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos (Semosp) informa que o sistema de drenagem urbana de São Luís é muito antigo e está subdimensionado, ou seja, abaixo da capacidade tendo em vista a expansão da cidade e a intensidade de chuvas registradas nos últimos dias. A Semosp comunica ainda que o problema é agravado ainda pelo descarte irregular de resíduos em vias públicas, o que provoca a obstrução de bueiros, galerias e bocas de lobo, impedindo o fluxo normal das águas das chuvas. A Secretaria ressalta que tem investido na ampliação do sistema de drenagem da cidade, com a construção de canais e galerias e a implantação de redes de escoamento superficial, priorizando áreas que apresentam inundações recorrentes durante o período chuvoso.

Em decorrência desses fatores, durante o período de chuvas na capital, inúmeras famílias que estão locadas as margens de canais acabam sofrendo com problemas de alagamentos, passando por muitos transtornos e risco de contaminação a doenças de veiculação hídrica, até mesmo nas áreas com metro quadrado mais caro da cidade (SILVA, 2016 p.26).

## 4 MEDIDAS DE CONTROLE DE ENCHENTES

Canholi (2014) comenta que as medidas de correção e/ou prevenção se destinam a minimização dos danos provocados por enchentes, sendo o sistema de drenagem composto por dois tipos de intervenções no ambiente, que de acordo com sua natureza são classificadas em medidas estruturais e as medidas não estruturais.

O mesmo autor destaca que as medidas estruturais objetivam a correção ou prevenção dos problemas decorrentes de enchentes através das obras hidráulicas de engenharia que podem ser implantadas proporcionando uma boa drenagem do escoamento superficial. As não-estruturais são aquelas em que se busca no mínimo reduzir os danos ou consequências das inundações, não por meio de obras, mas sim uma série de propostas, voltadas à redução dos efeitos das chuvas intensas na área urbana, que não cinjam obras grandes de engenharia.

### 4.1 Medidas estruturais

Para Tucci (2012), as medidas estruturais são vistas como alterações no sistema fluvial que evitam prejuízos oriundos das enchentes. Sendo assim, pode-se definir que as medidas de controle estruturais são obras de engenharia designadas a reduzir os riscos de enchentes e seus impactos.

As medidas estruturais podem ser divididas em dois grupos, as medidas extensivas e as medidas intensivas, conforme pode ser visualizado no Quadro 02.

Quadro 02: Medidas estruturais para o controle de inundações.

<b>Medidas Estruturais</b>	Extensivas (Hidrológicas)	Agem na bacia, modificando as relações entre precipitação e vazão.	
	Intensivas (Hidráulicas)	Agem diretamente na calha do rio, modificando as grandezas hidráulicas e características hidrodinâmicas do escoamento.	Aceleram o escoamento
			Retardam o escoamento
			Derivam o escoamento

Fonte: Adaptado de Miguez *et al.*, (2016, p. 107).

As medidas extensivas (Quadro 02) são aquelas que possuem ação sobre a bacia, alterando suas relações entre a precipitação pluvial e a vazão/escoamento, como, por exemplo,



a modificação da cobertura vegetal da bacia e utilização de estruturas de infiltração. (MIGUEZ *et al.*, 2016, pg. 106).

Ainda segundo o mesmo autor, as medidas intensivas, operam diretamente sobre a vazão de escoamento das águas dos corpos hídricos, tentando mudar as condições hidrodinâmicas deste, conceituando como medida hidráulica. Tucci (2012) complementa o assunto, afirmando que estas medidas atuam essencialmente nos rios, podendo ainda ser divididas nas seguintes ações: aceleração do escoamento, retardamento do escoamento e desvio do escoam.

Quadro 03: Medidas estruturais de controle a enchente.

<b>MEDIDA</b>	<b>PRINCIPAL VANTAGEM</b>	<b>PRINCIPAL DESVANTAGEM</b>	<b>APLICAÇÃO</b>
<b>MEDIDAS EXTENSIVAS</b>			
Cobertura Vegeta	Redução do pico de cheia	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
Controle de perda do solo	Redução do assoreamento	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
<b>MEDIDAS INTENSIVAS</b>			
Diques e polders	Alto grau de proteção de uma área	Danos significativos caso ocorram falhas	Grandes rios
<b>Melhoria do Canal</b>			
Redução da rugosidade por obstrução	Aumento da vazão com pouco investimento	Efeito localizado	Pequenos rios
Corte de meandro	Ampliação da área protegida e aceleração do escoamento	Impacto negativo em rio com fundo aluvionar	Área de inundação estreita
<b>Reservatórios</b>			
Todos os reservatórios	Controle a jusante	Localização difícil	Bacias intermediarias
Reservatórios com comportas	Mais eficiente com o mesmo volume	Vulnerável a erros humanos	Projetos de usos múltiplos
Reservatório para cheias	Operação com o mínimo de perdas	Custo não partilhado	Restrito ao controle de enchentes
<b>Mudança de cana</b>			
Caminho da cheia	Amortecimento de volume	Depende da topografia	Grandes bacias
Desvios	Reduz vazão do canal principal	Depende da topografia	Bacias médias e grandes

Fonte: TUCCI, (2012), apud SILVA, (2016, p. 33).

No Quadro 03 tem-se as principais peculiaridades das medidas estruturais de controle de enchente, bem como vantagens, desvantagens e aplicação das mesmas.

#### 4.2 Medidas não-estruturais

Canholi (2014, pg. 25) sustenta que as medidas não estruturais conseguem atingir seus objetivos, quando bem planejados, de forma mais eficaz, bem menos onerosa e atingindo maiores horizontes (áreas) de atuação, quando comparadas a ações estruturais. As medidas estruturais podem trazer uma falsa sensação de segurança e até induzir a ampliação dos problemas nas áreas inundáveis. No Quadro 04, são apresentadas por Miguez *et al.* (2016, p. 107) as medidas não estruturais que devem ser previstas nos projetos de controle das cheias.

Quadro 04: Medidas não estruturais para o controle de inundações.

<b>Medidas não Estruturais</b>	Preservação da cobertura vegetal – Florestas e matas ciliares
	Regulamentação do uso do solo e zoneamento das áreas de inundação
	Construção a prova de inundação
	Seguro-inundação
	Sistema de previsão e alerta de inundação
	Educação ambiental voltada ao controle da poluição difusa, da erosão e do lixo.

Fonte: Adaptado de Miguez *et al.*, (2016, p. 107).

Com as medidas não estruturais (Quadro 04), segundo Zenkner (2018, p. 31) “essas medidas, em geral, buscam delimitar áreas, a fim de manter a cobertura vegetal original e definir uma correta ocupação do solo”. Para isso, pode-se realizar:

- a) Delimitação do solo a ser ocupado;
- b) Educação ambiental;
- c) Alerta e previsões de inundações;
- d) Formulação de Planos Diretores.

Na cidade de São Luís o instrumento urbanístico que regulamenta o uso e ocupação do solo é a Lei nº 3.253, de 29 de dezembro de 1992. De acordo com essa Lei de Zoneamento

são permitidos usos e ocupações específicas para a cidade que está dividida em 38 zonas, distribuídas em 54 áreas.

Assim conforme a lei atual de zoneamento da cidade, a Estrada do Pimenta está inserida na Zona Residencial 7 – ZR7 e Corredor Urbano 7 – CS7 (Conforme pode ser visualizado no Anexo 03). De acordo com o Art. 222 - as Zonas Residenciais 7 são áreas que correspondem ao patrimônio público estadual ou federal, particulares e outras que a Prefeitura entender necessário, o parcelamento, uso e ocupação do solo, bem como as obras, deverão ser aprovadas após apresentação do plano urbanístico para a área, que deverá apresentar propostas de preservação e recuperação das bacias hidrográficas existentes.

Os limites da ZR7 são estabelecidos no Art.6º da lei em questão, inciso XV:

Inicia-se este limite no ponto de interseção da Av. dos Holandeses com a Rua José N. Costa, prolongando-se ao longo da última e seguindo pela Rua Santo Antônio até atingir a Estrada do Vale do Pimenta, daí prolongando-se até atingir a Rua 01, por onde prossegue até o ponto de interseção com a Rua 06, neste ponto segue com rumo à direita até atingir a Rua 05, prolongando-se pela mesma com uma deflexão à direita pela Rua 03, até atingir o prolongamento da Rua 01, segue por esta com rumo à esquerda até encontrar a via que margeia o limite da área do cemitério Parque da Saudade, prolongando-se por esta com orientação à direita até encontrar o ponto de interseção com a Rua Projetada, distante 900,00 m do ponto anterior, donde prossegue com rumo à esquerda até atingir uma via projetada a 550,00 m do ponto anterior, prolongando-se por esta com orientação à direita até atingir um ponto localizado a 540,00 m do último e, com uma deflexão à esquerda, seguindo por esta por um trecho de 290,00 m até a Av. Jerônimo de Albuquerque, prosseguindo pela última até encontrar a Av. Euclides Figueiredo até o ponto de interseção desta com a Av. Colares Moreira e Av. dos Holandeses, seguindo pela última à direita até encontrar o ponto que deu origem a este perímetro (Lei nº 3.253, de 29 de dezembro de 1992).

Na Zona 7, segundo Seção VII , Art. 32, os usos permitidos são os destinados a uso residencial unifamiliar e multifamiliar, comercial (lanchonetes, padarias, farmácia, casa lotérica, restaurante, supermercado, entre outros), serviços de âmbito local (lavanderia, autoescola, associações beneficentes, pensões, entre outros), serviços de escritórios, de saúde, de educação, socioculturais, de hospedagem e serviços de diversão (teatro, buffet, cinema), além dos usos institucionais (educação, lazer e cultura, saúde, entre outros).

De acordo com a mesma Seção, Art. 33, os novos parcelamentos são fixados e disciplinados conforma as seguintes normas:

- e) Área mínima do lote igual a 800,00 m<sup>2</sup>;
- f) Testada mínima do lote igual a 20,00 m<sup>2</sup>.

### 4.3 Aplicação dos indicadores

Durante os períodos grandes precipitações pluviométricas, os problemas oriundos dos sistemas de drenagem pluvial nas cidades crescem de forma exponencial no país, esses são em sua maioria consequências da ausência de planejamento urbano, uma forma de aferição dos problemas se dá pela aplicação de indicadores nos sistemas.

Para agregar dados e os quantificá-los de forma a deixar o seu grande valor mais evidente, os indicadores são aplicados com o intuito simplificar as informações relatadas sobre eventos mais complexos com o propósito de facilitar o processo de análise e comunicação de dados.

Segundo Montibeller-Filho (2010), um índice nada mais é que o agrupamento de valores que resultam em um conjunto de indicadores filiados de diversas medidas ou características de um sistema ou elemento.

Os indicadores são instrumentos que podem ser formados por uma ou mais variáveis, que são relacionadas das mais diversas maneiras possíveis, a fim de demonstrar significados mais vastos a respeito dos fenômenos a que estão fazendo referência. Indicadores de desenvolvimento sustentável são ferramentas indispensáveis para orientar e facilitar para o acompanhamento, assim como, a análise do progresso obtido em direção ao desenvolvimento sustentável (IBGE, 2012).

Em seu trabalho, Steiner (2011) menciona que os indicadores descrevem e transmitem informações com a finalidade de torná-las um conjunto de fenômenos compreensíveis o que anteriormente não era imediatamente detectável. Apesar de os indicadores serem de fácil compreensão, é necessário a capacidade de agregação com diversos outros componentes com a finalidade de gerar outros índices.

Ainda segundo a autora os índices agradam vários indicadores com a finalidade de quantificar, analisar, simplificar e comunicar facilitando a compreensão de informações complexas, tornando-as quantificáveis de forma que possam ser analisadas por diferentes níveis de sociedade.

Em 2004, Bruno Silva e outros desenvolveram e aplicaram uma metodologia baseada em Indicadores de Fragilidade do Sistema – IFS, e avaliaram o sistema de drenagem urbana por meio do Índice de Fragilidade Geral – IFG (SILVA *et al.*, 2004, p. 01-02).

O sistema de drenagem é visto, nesta metodologia, como um conjunto de elementos de drenagem que podem ter o funcionamento dos seus dispositivos modificados por inúmeros fatores. Desta maneira, o sistema de drenagem urbana é analisado de forma ampla,

abordando questões das mais diversas naturezas tais como: institucional, tecnológica e ambiental (SANTOS JÚNIOR, 2013).

## **5 METODOLOGIA**

### **5.1 Tipo de Pesquisa**

Essa pesquisa caracteriza-se segundo os seus objetivos em pesquisa explicativa-exploratória, uma vez que “procura identificar quais são os fatores determinantes ou que contribuem para ocorrência dos fenômenos” Silva *et al.*, (2004 p.23) por meio de levantamento de campo. Quanto ao método de abordagem, foi utilizado o quali-quantitativo, pois este trabalho tem como objetivo analisar a condições atuais do sistema de drenagem pluvial proposto aplicando os indicadores de fragilidade nos PEs.

O método de procedimento foi o de estudo de caso, visto que a análise foi feita na Estrada do Pimenta em São Luís – MA. Foi aplicado também o procedimento bibliográfico, com o estudo de obras e literaturas que abordaram as temáticas do trabalho, como base alguns estudos realizados onde já foram aplicados os indicadores de fragilidade.

### **5.2 Local de Estudo**

O estudo de caso foi realizado na cidade de São Luís - MA, na Estrada do Pimenta, bairro Alto do Calhau (Figura 09). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia no censo de 2010, São Luís, capital do Maranhão possui uma densidade demográfica de 1215,69 habitantes por km<sup>2</sup>, com uma população estimada de 1.108.975 pessoas em 2020.

De acordo com os dados do IBGE, censo de 2010, a capital maranhense é a cidade mais povoada do Maranhão, a 15<sup>o</sup> mais povoada do Brasil e 4<sup>o</sup> município mais populoso da Região Nordeste, ficando atrás de Salvador, Recife e Fortaleza. A área do município é de 834,785 km<sup>2</sup>, dessa totalidade 157,56 km<sup>2</sup> estão situadas no perímetro urbano.

Figura 09: Localização da Estrada do Pimenta.



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro, (2020).

Na Figura 09, pode-se ver a localização da estrada com vista superior. A Estrada do Pimenta está localizada a  $2^{\circ}30'14.37''$  de Latitude Sul e  $44^{\circ}15'29.72''$  de Longitude Oeste, e dá acesso aos bairros da Cohama, Calhau, Vinhais e Cohafuma, é uma alternativa por exemplo, para aqueles condutores que desejam se deslocar do Cohafuma ao Vinhais, sem ter de passar pela Avenida Jerônimo de Albuquerque. O estudo foi elaborado considerando a inserção do local na bacia hidrográfica das praias (Conforme Anexo 04).

### 5.3 Coleta de Dados

Para a realização desta pesquisa, parte dos dados foram obtidos *in loco*, através de visitas de campo, principalmente nos períodos de chuva (entre os meses de janeiro e junho de 2020) da ilha, quando foi possível fazer um reconhecimento local do funcionamento da drenagem pluvial da estrada. Para identificação e registros dos elementos/dispositivos e as possíveis falhas de micro e macrodrenagem nos PEs foi utilizado o meio fotográfico, com registro durante as visitas de campo.



As informações obtidas *in loco* de forma conjunta com a análise de mapas, fotos e o histórico da região, foram ferramentas muito importantes para definir os pontos críticos de alagamentos no local proposto (Figura 10).

Figura 10: Pontos Críticos de Estudos.



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro, (2020).

Analisando a Figura 10, é possível visualizar os pontos críticos de estudos, definidos a partir da análise das curvas de níveis (Figura 11), perfil de elevação e altimetria (Figura 12 e Figura 13, respectivamente) e imagens de históricos de chuvas que propiciaram alagamentos no local e região. A partir dessas informações, foi realizado o diagnóstico do funcionamento do sistema de drenagem seccionado em pontos críticos, aplicando a Metodologia do Índice de Fragilidade do Sistema.

#### 5.4 Análise dos dados através da metodologia do índice de fragilidade

Para a análise dos dados da pesquisa em questão, foi utilizada a metodologia do Índice de Fragilidade do Sistema, desenvolvida durante a Elaboração do Componente Drenagem do Plano Municipal de Saneamento Ambiental do Município de Alagoinhas – BA por Bruno Jardim da Silva e outros (UFBA). A mesma é apoiada em Indicadores de Fragilidade



do Sistema (IFS), onde o sistema de drenagem é visto como um conjunto de elementos de drenagem que podem ter o funcionamento dos seus dispositivos modificados por uma série de fatores. Sendo possível desta maneira, analisar o sistema de drenagem urbana de forma ampla, dividindo os fatores que interferem no funcionamento na drenagem em três naturezas: ambiental, tecnológica e institucional (Quadro 05).

Quadro 05: Fatores intervenientes no sistema de drenagem pluvial urbano.

<b>NATUREZA</b>	<b>FATORES</b>	<b>ABORDAGEM</b>
<b>Ambiental</b>	Arranjo do Traçado	*Interação com a topografia *Respeito ao sistema natural de drenagem
	Usos do solo	*Nível de impermeabilização dos terrenos *Erodibilidade dos terrenos *Ocupação marginal dos corpos interceptores
	Padrões de conforto das vias	*De pedestres *De grande fluxo de veículos e de pedestres *De grande fluxo de veículos e baixo fluxo de pedestres *De médio movimento *De acesso local
	Interação com demais equipamentos de saneamento urbano	*Lançamento de efluentes domésticos na rede *Lançamento de outros efluentes na rede *Deposição de lixo nas galerias e canais *Dispersão de sedimentos nas vias
<b>Tecnológico</b>	Estruturas de micro drenagem	*Dimensão dos dispositivos hidráulicos *Padrão construtivo *Adequação do conjunto de dispositivos *Manutenção e conservação dos dispositivos
	Estruturas de macro drenagem	*Dimensão dos dispositivos hidráulicos *Padrão construtivo *Adequação do conjunto de dispositivos *Manutenção e conservação dos dispositivos
<b>Institucional</b>	Aspectos gerenciais	*Interatividade dos componentes *Aporte financeiro no orçamento *Recursos humanos *Planejamento das ações e estudos existentes
	Aspectos legais	*Existência de normas e outros instrumentos *Aplicação dos dispositivos

Fonte: Adaptado de Silva *et al.*, (2004, p. 4).

Os resultados para esta pesquisa foram obtidos a partir da definição dos Fatores que interferem no sistema e dos Indicadores de Fragilidade do Sistema (Quadro 06), sendo realizada uma abordagem mais geral e em seguida análise individual em cada PE, nos locais os quais se manifestam o mau funcionamento do sistema.

É válido ressaltar que, neste estudo em específico, os indicadores propostos por Silva *et al.* (2004) foram reformulados e outros acrescentados, tomando por Santos Júnior (2013).

Quadro 06: Indicadores de Fragilidade do Sistema.

NATUREZA	INDICADORES E ABORDAGENS ADOTADAS
Ambiental	<b>Degradação física dos terrenos:</b> consideram-se terrenos baldios e áreas com maiores declividades, as quais facilitem a produção de sedimentos.
	<b>Ausência/ineficiência de dispositivos de armazenamento e de áreas para a infiltração da água pluvial nos lotes:</b> com este indicador, verifica-se a falta de dispositivos de controle do escoamento (nos lotes) para amenizar os efeitos da impermeabilização.
	<b>Favorecimento da produção de sedimentos:</b> consideram-se locais próximos a áreas verdes, terrenos baldios, áreas com maiores declividades.
	<b>Possível erosão da pavimentação das vias de acesso ocasionada pelo escoamento superficial:</b> com este indicador, busca-se verificar se há erosão ou deterioração do pavimento das vias de acesso.
	<b>Ocorrência de alagamento:</b> áreas onde ocorrem alagamentos.
	<b>Contribuição para alagamento de outros pontos de análises</b>
	<b>Disposição de resíduos sólidos e sedimentos em vias públicas:</b> este indicador permitirá avaliar se a área em análise apresenta locais que possibilitam e/ou apresentam disposição clandestina de resíduos.
	<b>Interação inadequada com esgoto nos equipamentos de drenagem:</b> este indicador permite identificar se há presença de esgoto lançado indevidamente nos equipamentos de drenagem.
	<b>Interferência inadequada no trânsito de veículos:</b> situação do trânsito de veículos e geral, em meio a um alagamento.
	<b>Interferência no movimento de pedestres na ocorrência de alagamentos:</b> este indicador permite constatar se o sistema de drenagem existente promove conforto à locomoção de pedestres na ocorrência de precipitações pluviais intensas.
Institucional	<b>Assoreamento do corpo receptor:</b> processos ocasionados pelo acúmulo de resíduos, entulho e outros detritos no fundo dos rios.
	<b>Elevação dos gastos com manutenção e conservação dos equipamentos públicos:</b> os equipamentos equivalem a obras destinadas a utilização pública como: rodoviárias, escolas, postos de saúde, hospitais, terminais, praças etc.
	<b>Aumento da demanda de recursos hídricos financeiros para a implementação de obras:</b> recursos financeiros necessários para corrigir a falha de obra já existentes.
	<b>Perda de credibilidade da administração pública:</b> este indicador avalia o nível de satisfação e confiança da população com os órgãos públicos responsáveis pela manutenção e gestão das infraestruturas de drenagem (macro e microdrenagem).
Tecnológica	<b>Ausência de manutenção regular do sistema de drenagem urbana:</b> este indicador avalia a preocupação das entidades públicas em manter o sistema de drenagem urbana em boas condições de operação.
	<b>Deterioração física dos equipamentos de drenagem:</b> este indicador avalia as condições de conservação física dos equipamentos de drenagem.
	<b>Ineficiência do escoamento nas vias:</b> consideram-se áreas com predominância de planícies, as quais facilitam o alagamento.
	<b>Inexistência de diretrizes para a execução das estruturas de drenagem urbana:</b> este indicador avalia se os dispositivos de drenagem (bocas de lobo e sarjetas, por exemplo) são padronizados e encontram-se posicionados e presentes nos locais adequados.
	<b>Ineficiência dos dispositivos de coleta:</b> equivalem aos equipamentos que compõe o sistema de microdrenagem.
	<b>Ineficiência da capacidade de transporte pelos condutos:</b> este indicador avalia se há indícios (de maneira especulativa) de interferências no escoamento pelas galerias.
<b>Redução da vida útil das estruturas de drenagem:</b> se as condições locais da área-problema permitem a redução da vida útil dos equipamentos de drenagem.	
<b>Redução da vida útil dos pavimentos e acessos:</b> após a ocorrência de chuvas intensas.	

Fonte: Adaptado de Silva *et al.*, (2004, p. 05); Santos Júnior, (2013, p.10).

Nos PEs, foi aplicado o Índice de Fragilidade do Sistema de forma conjunta a uma planilha (tabela) para facilitar e melhorar a visualização dos fatores que interferem no sistema de drenagem, por meio da atribuição pesos que variam de 0 a 5 (Quadro 07) definidos por Santos Júnior (2013) aos Indicadores de Fragilidade do Sistema, para chegar ao grau de fragilidade de cada ponto estudado.

Quadro 07: Valores da manifestação dos indicadores.

<b>VALORES (PESOS)</b>	<b>MANIFESTAÇÃO DOS INDICADORES</b>
0	Indicador inexistente no PE
1	Presente, sem agravante (0%)
2	Pouco agravante (25%)
3	Medianamente agravante (50%)
4	Moderadamente agravante (75%)
5	Muito agravante (100%)

Fonte: Adaptado de Santos Júnior, (2013, p. 8).

Em seguida determina-se o valor do Índice de Fragilidade Geral, definidos em graus de fragilidade que podem variar de muito baixo a muito forte e intervalos que variam de 0 a 130, conforme pode ser observado no Quadro 08.

Quadro 08: Graus e intervalos de fragilidade.

<b>GRAUS DE FRAGILIDADE</b>	<b>INTERVALOS (IGF)</b>
Muito baixa	0 a 22
Baixa	22 a 44
Média	44 a 66
Forte	66 a 88
Muito Forte	88 a 110

Fonte: Adaptado de Santos Júnior, (2013).

Dessa forma, o IGF foi determinado pelo somatório dos pesos atribuídos em cada PE, onde quanto maior a manifestação dos indicadores mais grave a situação do ponto em análise. O sistema de pontuação permitiu estabelecer a hierarquização dos principais problemas encontrados, contribuindo para a sugestão de medidas que possam ajudar a combatê-los.

## 5.5 Materiais e Métodos

Os materiais utilizados para esta pesquisa foram a câmera fotográfica para registro dos principais pontos críticos de alagamentos bem como as falhas nos sistemas de microdrenagem.

Foi realizado um estudo pluviométrico atualizado da cidade de São Luís, entre os anos de 1990 e 2019, através de dados colhidos das Estações Pluviométricas da Agência Nacional das Águas-ANA, que se encontra em Operação na Bacia 3 - Atlântico, Trecho Norte/Nordeste, SubBacia 33 – Rios Mearim, Itapecuru e outros, Código 00244006, nome da estação é São Luís, latitude -2.8833, longitude -44.35, altitude 50.86 metros (Conforme Anexo 01). É importante ressaltar que o objetivo desse estudo foi verificar e compreender o comportamento das chuvas locais, porém os dados pluviométricos encontrados não foram utilizados para efeitos de cálculos de dimensionamento nessa pesquisa.

Foram extraídos dados das curvas de níveis do local e entorno através do aplicativo Google Earth Pro (2020), definidas a partir da delimitação da área do polígono no aplicativo Google Earth Pro (2020), em seguida foi extraído o modelo digital de elevação do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) no formato Geotiff através de uma conta criada no site dos Serviços Geológicos dos Estados Unidos (USGS). Em continuidade, foi criada uma nova camada (raster) no software Qgis 3.0 (2020), inserindo o modelo de elevação e por fim extraíndo o contorno com equidistância de 2 metros.

O levantamento altimétrico do local foi realizado através do aplicativo Google Earth Pro (2020), no qual foi traçado um caminho no percurso da estrada com distância de 1,31 quilômetros e por fim a definição do perfil de elevação do local, de modo a auxiliar na definição dos pontos críticos estudados. Para complementar a informação anterior, foram coletados dados altimétricos do local e entorno, através do site Topographic-map.com (2020).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Descrição da área de estudo

O processo de urbanização acarreta transformações na drenagem urbana. Áreas antes permeáveis se tornam impermeáveis, aumentando a recorrência das inundações, gerando danos sociais e ambientais para a população, como alagamentos, disseminação de doenças, erosões e assoreamentos de rios.

A Cidade de São Luís, Capital do Maranhão, assim como grande maioria das cidades brasileiras, sofre com o processo de urbanização desordenado, o que ocasiona uma série de problemas para a capital, entre eles a ausência ou pouca eficiência do sistema de drenagem pluvial.

A situação atual da Estrada do Pimenta preocupa os moradores da região, uma vez que, no período das chuvas, que compreende os seis primeiros meses do ano, os poucos dispositivos de drenagem existentes não se mostram suficientes para atender toda a demanda, ocasionando alagamentos e prejuízos ambientais e para a comunidade no local e seu entorno.

Nos últimos anos, de acordo com o Plano de Manejo do Parque Estadual do Sítio do Rangedor (área adjacente ao local de estudo), a especulação imobiliária no município de São Luís vem sendo refletida significativamente na área de entorno da Estrada do Pimenta. A construção da Av. Eduardo Magalhães, ligando as avenidas Jerônimo de Albuquerque e a Holandeses, possibilitou uma acentuação na quantidade de imóveis na área, onde passou a surgir vários edifícios comerciais e residenciais, em sua maioria de padrão mais elevado, a exemplo dos condomínios Jardins, Brisas e Space Calhau.

Essa alteração ambiental veio acompanhada de alguns problemas, tais como engarrafamentos no trânsito devido ao aumento do número de veículos, redução da qualidade do ar, aumento da insegurança e enchentes devido a maior pavimentação do solo, problemáticas estas típicas de áreas urbanizadas e pouco planejadas.

Com relação ao relevo da estrada, o escoamento segue conforme as curvas de níveis do terreno, na Figura 11 têm a topografia do local do estudo, é possível observar as curvas de níveis com cotas que variam de 11 a 41 metros de altitude do nível do solo.



Figura 11: Curvas de Níveis – Estrada do Pimenta e entorno.



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro, (2020).

Através da observação das curvas de níveis é possível verificar o curso percorrido pelas águas pluviais, onde essas são encaminhados diretamente para seu exutório e justamente nesse local é onde há o nível mais baixo da microbacia, sendo assim onde ocorre o maior acúmulo de água. Na Figura 12, é possível visualizar o perfil de elevação do curso da Estrada do Pimenta.

Figura 12: Perfil de elevação – Estrada do Pimenta.



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro, (2020).



O perfil acima corresponde a uma distância de 1,31 quilômetros (comprimento do caminho sob análise), apresentando altitude mínima de 18 metros, média de 24 metros e máxima de 30 metros. A inclinação máxima é de 15,0% (subida) e -18,4% (decida), dessa forma podemos verificar a declividade da estrada em estudo, uma vez que quanto mais próximo de 100% (subida) e -100% (decida), mais vertical é o terreno. Quanto à perda e ganho de elevação, corresponde a 20,4% e -15,2% respectivamente. Na Figura 13 é possível visualizar a altimetria Estrada do Pimenta e entorno

Figura 13: Altimetria – Estrada do Pimenta e entorno.



Fonte: Topographic-map.com, (2020).

Ainda com relação à altimetria do local, na Figura 13 é possível verificar a elevação da estrada e do entorno, onde comparando com a Figura 12, temos a comprovação da variação altimétrica do local, com mínima de 16 metros e máxima de 31 metros.

## 6.2 Diagnóstico dos Pontos de Estudos (PE's)

Durante a pesquisa, houve a dificuldade em adquirir dados e parâmetros de projetos. Desta maneira foi dado foco aos fatores que podem ser analisados visualmente ou através de relatos históricos descritos pela própria população residente na área em análise ou por reportagens da mídia.

Após as visitas técnicas no local de estudo foram identificados, adaptados e avaliados os elementos e falhas do sistema de drenagem urbana relacionados à manifestação

dos IFS, com base na metodologia descrita e conforme a tabela que consta no Apêndice 01 com os valores para cada PE analisado.

### **6.2.1 Ponto de Estudo 01**

O ponto de partida para aplicar a avaliação do sistema de drenagem pluvial urbano através da metodologia do índice de fragilidade do sistema foi dado pela a área compreendida no início da Estrada do Pimenta, logo após o condomínio de casas residenciais Parque La Ravardiere (conforme pode ser visualizado na Figura 10). Este ponto de estudo está localizado a 2°30'9.20" de Latitude Sul e 44°15'39.04" de Longitude Oeste, com altitude de aproximadamente 19 metros.

No Apêndice 01 é apresentado o Índice de Fragilidade no PE-01, onde foi obtido valor igual a 86 e grau de fragilidade “forte”.

A área de estudo em questão é considerada como um dos pontos críticos de alagamento da Estrada do Pimenta, constituída de um sistema que pretende conduzir as águas de um afluente até o rio Calhau/Canaã (aproximadamente de 5km de extensão), onde este último por sua vez nasce na Estrada do Pimenta com altitude mais elevada, e deságua na praia do Calhau com baixa altitude.

A região é povoada, com rede de esgoto e sem o interceptor, sendo em alguns pontos derramados no próprio rio. Fato este que o torna um dos mais poluídos da Capital e fonte de notícias constantes, sendo sua foz caracterizada por uma mancha preta, que ganhou nome de “língua negra”.

Na Figura 14, item “a)” (vista mais a jusante) tem-se o afluente que deságua no Rio Calhau (Rio que possui talvegue natural mais profundo, sendo, portanto, o rio principal) que por sua vez tem sua foz na praia do Calhau, ao lado do Hotel Blue Tree, sendo servido por dois bueiros que atravessam a rua, onde normalmente encontram-se obstruídos e acabam não atendendo a sua funcionalidade.

O item “b)” contempla a falta de manutenção dos dispositivos do sistema existentes, onde pode ser observado o crescimento da vegetação. No item “c)” é possível ver a vista mais a montante do afluente.



Figura 14: a) Afluente na Estrada do Pimenta, vista mais a jusante. b) Afluente na Estrada do Pimenta coberto pela vegetação, vista mais a jusante. c) Afluente na Estrada do Pimenta, vista mais a montante. d) Ausência de dispositivos de microdrenagem e descarte irregular de resíduos.



Fonte: Autora, (2020).

Analisando o item “d)” da Figura 14, é possível observar que a ocorrência de alagamento nesta área se dá pela inexistência de dispositivos de microdrenagem que possam realizar a coleta e condução dos escoamentos das águas pluviais, contribuindo para ineficiência do escoamento na via e conseqüentemente problemas na pavimentação do local. No mesmo item, pode-se notar a produção de sedimentos originados na degradação física dos terrenos baldios, sendo intensificada pelo descarte irregular de resíduos sólidos.

### 6.2.2 Ponto de Estudo 02

O ponto de estudo PE-02 está localizado a 2°30'14.45" de Latitude Sul e 44°15'30.11" de Longitude Oeste (conforme pode ser visualizado na Figura 10), sendo sua área formada por residências e empreendimentos comerciais. O trecho correspondente a este PE apresenta uma baixa altitude e recebe contribuição de outros PEs, permitindo um escoamento

superficial rápido resultando em alagamentos com maior frequência no período de elevada pluviosidade por conta da ineficiência do sistema de drenagem local.

No Apêndice 01 é apresentado o Índice de Fragilidade no PE-02, onde foi obtido valor igual a 101 e grau de fragilidade “muito forte”.

Na Figura 15 é possível visualizar alguns dispositivos do sistema de drenagem existente. No item “a)” tem-se uma vala de infiltração constituída pela depressão no terreno, com revestimento vegetal que visa recolher as águas pluviais, promover o seu armazenamento temporário e, por fim, permitir a infiltração através da trincheira de infiltração.

Figura 15 a) Vala e trincheira de infiltração em bom estado de conservação. b) Vala de infiltração em mal estado de conservação. c) Meio fio com vegetação e resíduos sólidos. d) Boca-de-lobo com obstrução.



Fonte: Autora, (2020).

Infelizmente no item “b)” da Figura 15 é possível observar a má conservação desses dispositivos, que acabam sendo sobrecarregados por uma elevada vazão das águas pluviais (uma vez que se encontra em um dos pontos mais baixos do curso da estrada), com descarte irregular de resíduos sólidos (que podem ainda ser vistos nos itens “c)” e “d)”) que acabam obstruindo esses elementos e impedindo o desempenho de suas funções, além do subdimensionamento das bocas-de-lobo. Além disso, pode ser observado que o processo de



manutenção preventiva dos elementos de microdrenagem não são executados de forma sistemática, uma vez que é possível observar o crescimento da vegetação na vala de infiltração. Nos itens “c)” e “d)” é possível observar a falta de conservação dos dispositivos do sistema existente, com meio fio apresentando vegetação e resíduos sólidos e boca-de-lobo com obstrução.

Na Figura 16 também se tem algumas fotografias registradas durante as inspeções técnicas no local de estudo. Nos itens “a)” e “b)” é possível visualizar o descarte irregular de resíduos sólidos em uma rua que fica adjacente ao local de estudo.

Figura 16: a) Descarte irregular de resíduos sólidos em estradas adjacentes. b) Resíduos sólidos advindo de construção civil. c) Processos erosivos no solo devido escoamento superficial. d) Sedimentos sólidos que são carregados pela força da vazão das águas pluviais. e) Muro caído após forte chuva. f) Poças de águas pluviais devido ausência de dispositivos de microdrenagem.



Fonte: Autora, (2020).

Nos itens “c)” e “d)” da Figura 16 é possível visualizar os processos erosivos sofridos em uma rua adjacente a Estrada do Pimenta devido o escoamento superficial das águas pluviais, que escoam em grande vazão (principalmente ao fato de este ser um dos pontos de menor altitude e receber a influência de outros PEs), ocasionada pelas fortes chuvas associado ao escoamento descontrolado, sem a presença de nenhum de nenhum dispositivo de microdrenagem possam fazer o recolhimento e direcionamento adequado dessa águas.

Ainda com relação a forte vazão das águas pluviais sofridas nesse local, na Figura 16, no item “e)” é possível ver a queda de um muro próximo a uma residência, que acabou não resistindo a força do escoamento. No item “f)” tem-se o acúmulo de poças de água pluviais devido ausência de dispositivos coletores superficiais, acabando muitas das vezes por atrapalhar o tráfego de pedestres e veículos no local.

### **6.2.3 Ponto de Estudo 03**

O ponto de estudo PE-03 está localizado a 2°30'12.93" de Latitude Sul e 44°15'24.23" de Longitude Oeste (conforme pode ser visualizado na Figura 10), com altitude de aproximadamente 22 metros. A área em questão fica situada frente à Rua Cinza e é formada por residências e empreendimentos comerciais.

No Apêndice 01 é apresentado o Índice de Fragilidade no PE-03, onde foi obtido valor igual a 103 e grau de fragilidade “muito forte”.

Analisando o Apêndice 01, é possível analisar que o PE-03 apresentou Índice de Fragilidade – Ambiental superior ao PE-02, isso se deve ao fato dessa área possuir elevado grau de deterioração dos terrenos e disposição de resíduos sólidos e deposição de sedimentos em vias públicas de forma mais preocupante. Apesar de ser um ponto mais elevado em relação ao PE-02, também recebe a contribuição dos escoamentos dos PE-04, PE-05 e PE-06.

Quanto ao Índice de Fragilidade - Tecnológica nesse PE, é possível observar que apresentou elevado grau de manifestação, obtendo um valor de 33 de um total de 35 pontos. Essa pontuação se deve ao fato de nesse o local apresentar ausência de dispositivos de microdrenagem que possam realizar o transporte pelos condutos, causando dessa forma a ineficiência do escoamento nas vias, redução da vida útil das estruturas de drenagem e redução da vida útil dos pavimentos e acessos.

Com relação ao Índice de Fragilidade – Institucional, também apresentou elevado grau de manifestação, com valor igual a 19 de um total de 20 pontos máximos possíveis de



serem atingidos. Alguns indicadores apresentaram pesos máximos, como o aumento da demanda de recursos hídricos financeiros para a implementação de obras, elevação dos gastos com manutenção e conservação dos equipamentos públicos e perda de credibilidade da administração pública, além da ausência de manutenção regular do sistema de drenagem urbana.

Por consequência de tal descaso, durante o período de chuvas intensas a área acabada sofrendo também com os defeitos de pavimento provocados pelo escoamento superficial como pode ser visto na Figura 17, resultando em constrangimentos para a população tais como: trânsito caótico, desconforto ao rolamento, danos aos veículos e aumento dos riscos de acidentes.

Figura 17: a) Problemas no pavimento e alagamento dificultando tráfego de veículos. b) Defeitos de pavimento provocados pelo escoamento superficial. c) Problemas de alagamentos no local de estudo. d) Alagamentos com arraste de resíduos sólidos na via. e) Nascente do Rio Calhau. f) Prefeitura trabalhando nos problemas gerados pelo escoamento das águas pluviais.



Fonte: Autora, (2020).



Na Figura 17, itens “a)” e “b)” é possível visualizar os defeitos no pavimento gerados devido ao forte escoamento das águas pluviais oriundos da ausência de dispositivos de coleta superficiais. Desta forma, por conta do enorme fluxo de pedestres e veículos, a pavimentação asfáltica da Estrada em questão acaba não suportando o tráfego pesado, reduzindo assim a sua vida útil e aumentando os defeitos de pavimentos. Ainda no item “a)” pode ser visto o impedimento da passagem de dois ônibus da Prefeitura Municipal pelo local alagado. Nos itens “e)” e “f)” é possível visualizar os defeitos causados na residência e reparos sendo realizados pela Prefeitura, respectivamente.

Através do estudo de campo somado a aplicação da metodologia do Índice de Fragilidade pode-se notar a presença de ruas sem pavimentação, muitos terrenos baldios e depósitos de lixo a céu aberto, demonstrando falhas na gestão pública quanto a esses aspectos. Esta situação contribui de forma direta para o arraste de resíduos sólidos e sedimentos para o sistema de drenagem aumentando a sua ineficiência, como pode ser visto na Figura 18.

Figura 18: a) Arraste de sedimentos nas vias pavimentadas. b) Resíduos sólidos sendo descartados na rua adjacente a Estrada. c) Lixo descartado no curso da Estrada. d) Lixo descartado indevidamente. e) Casa localizada no PE alagada após chuva. f) Defeitos provocados em veículos que passam no local devido buracos na Estrada.



Fonte: Autora, (2020).

Nos itens “a)” e “b)” da Figura 18, é possível ver o arraste de sedimentos nas vias pavimentadas oriundos de problemas de drenagem e resíduos sólidos descartados na rua adjacente a Estrada, respectivamente. É importante considerar essa interface a problemas de conscientização da população local, uma vez que no ponto de estudo é possível visualizar lixos urbanos descartados indevidamente (itens “c)” e “d)”), além dos serviços de coleta ineficientes na localidade. As consequências desses indicadores resultam em alagamentos e transtornos a população local, nos itens “e)” e “f)” tem-se uma casa frente ao PE alagada após chuva e defeitos provocados em veículos que passam no local devido buracos na Estrada, respectivamente.

Como pode ser visto, no ponto de estudo em questão foi notada uma série de falhas no que diz respeito ao sistema de drenagem pluvial urbano, onde a ineficiência do mesmo faz a incidência de alagamentos aumentarem nesta área de estudo. Por estar localizado nas imediações de bairros populosos, torna-se inevitável os transtornos à população em relação à locomoção dos pedestres e veículos que por ali transitam.

#### **6.2.4 Ponto de Estudo 04**

O ponto de estudo PE-04 está localizado a 2°30'12.01" de Latitude Sul e 44°15'20.63" de Longitude Oeste, com altitude de aproximadamente 24 metros. A área em questão fica situada ao lado da entrada da Rua Xavier Chaga e é formada por residências e empreendimentos comerciais (conforme pode ser visualizado na Figura 10).

No Apêndice 01 é apresentado o Índice de Fragilidade no PE-04, onde foi obtido valor igual a 88 e grau de fragilidade “muito forte”.

Analisando o Apêndice 01, é possível observar elevados graus de manifestação dos indicadores nesse PE, com Índice de Fragilidade – Ambiental igual a 44 pontos de um total de 55 pontos possíveis de serem atingidos, Índice de Fragilidade – Tecnológica igual a 27 de um total de 35 pontos possíveis de serem atingidos e Índice de Fragilidade - Institucional igual a 17 de um total de 20 pontos possíveis de serem atingidos.

A grande concentração de fluxos de água na faixa de rolamento da estrada aliada à declividade acentuada, eleva o potencial de remoção e transporte de materiais pela via. Além disso, a concentração de umidade reduz a capacidade de resistência do solo, tornando-o mais vulnerável aos processos erosivos.



O excesso de áreas impermeabilizadas causa uma diminuição muito acentuada do tempo de concentração o que, em casos críticos, sobrecarrega o sistema de microdrenagem que, como é dimensionado para pequenos períodos de retorno, tem sua eficiência comprometida.

Na Figura 19, item “a)” é possível visualizar defeitos no pavimento da Rua Xavier Chaga apresenta declividade acentuada (Conforme pode ser observado na Figura 13, há uma mancha verde no mapa indicando maior altimetria em relação ao local de estudo) e descarrega seus escoamentos pluviais no PE-04, sobrecarregando o sistema que não possui nenhum dispositivo de coleta superficial na área, contribuindo significativamente para os alagamentos na estrada. No item “b)” é possível visualizar a ausência de dispositivos de microdrenagem em uma via estreita, dificultando o tráfego de pessoas e veículos e facilitando o processo de desagregação, transporte e deposição das partículas solidas (erosão do solo).

Figura 19: a) Defeitos no pavimento da Rua Xavier Chaga. b) Processos erosivos na extremidade da estrada. c) Resíduos sólidos associados a descarga irregular de esgoto sanitário residencial. d) Resíduos sólidos no limite da pista.



Fonte: Autora, (2020).



Ainda com relação a Figura 19, nos itens “c)” e “d)” é possível ver o descarte irregular lixo urbano, além de outros resíduos sólidos como restos de vegetação e entulhos de materiais da construção civil, necessitando de programas de conscientização da população local, dispositivos adequados para descarte de lixo urbano e limpezas periódicas no local.

### **6.2.5 Ponto de Estudo 05**

O ponto de estudo PE-05 está localizado a 2°30'8.70" de Latitude Sul e 44°15'16.49" de Longitude Oeste (conforme pode ser visualizado na Figura 10), com altitude de aproximadamente 27 metros. A área em questão é formada por residências e empreendimentos comerciais, fica situada frente à entrada da Rua 9 (que recebe contribuição da Rua K, Rua J, Rua 2, Rua 3) que possui sua jusante no PE-05.

No Apêndice 01 é apresentado o Índice de Fragilidade no PE-05, onde foi obtido valor igual a 86 e grau de fragilidade “forte”.

Quanto ao Índice de Fragilidade - Ambiental nesse PE, é possível observar que apresentou elevado grau de manifestação, obtendo um valor de 42 de um total de 55 pontos. Essa pontuação se deve ao fato de nesse o local apresentar ausência de dispositivos de microdrenagem que possam realizar o transporte pelos condutos e devido à má gestão de resíduos sólidos, os sedimentos são arrastados durante o período de chuva para o leito do rio Calhau, que por não ser canalizado recebe estes resíduos que acabam contribuindo para o seu assoreamento.

Com relação ao Índice de Fragilidade – Institucional, também apresentou elevado grau de manifestação, com valor igual a 17 de um total de 20 pontos máximos possíveis de serem atingidos. O indicador de perda da credibilidade da administração pública (que corresponde ao grau de satisfação dos usuários quanto aos serviços ofertados) apresentou peso máximo, alguns indicadores como o aumento da demanda de recursos hídricos financeiros para a implementação de obras, elevação dos gastos com manutenção e conservação dos equipamentos públicos também apresentaram manifestação significativas, além da ausência de manutenção regular do sistema de drenagem urbana.

Como a área de estudo fica localizada no cruzamento da Estrada do Pimenta com a Rua 9, recebe uma vazão de contribuição significativa, que escoando gerando alagamentos nos PE-05, PE-04, PE-03 e PE-02 sequencialmente. Há ainda a ineficiência do escoamento nas vias devido ausência dos dispositivos de coleta superficial, aumentando a velocidade de escoamento superficial e originando alagamentos no local.

Na Figura 20 abaixo, tem-se a demonstração de algumas consequências causadas pelo descaso público e descarte irregular de lixo urbano em terrenos baldios, tais como: alagamentos com araste de resíduos na faixa de rolamento da via.

Figura 20: a) Descarte irregular de lixo urbano em terreno baldio. b) Alagamentos com araste de resíduos na faixa de rolamento da via. c) Alagamentos no PE. d) Alagamentos no cruzamento do PE.



Fonte: Autora, (2020).

Na Figura 20, item “a)” é possível visualizar o descarte irregular de lixo urbano em terreno baldio e deposição de sedimentos em vias públicas que acabam sendo arrastados pelo escoamento nas vias (item “b”). Como consequência desses indicadores, tem-se a ocorrência de alagamentos no local, conforme pode ser visualizado nos itens “c)” e “d)”, contribuindo para a interferência inadequada no trânsito de veículos, no movimento de pedestres e assoreamento do corpo receptor.

### 6.2.6 Ponto de Estudo 06

O ponto de estudo PE-06 está localizado a 2°30'1.98" de Latitude Sul e 44°15'10.24" de Longitude Oeste, com altitude de aproximadamente 29 metros. A área em

questão é formada por residências e empreendimentos comerciais (conforme pode ser visualizado na Figura 10), fica ao lado do condomínio residencial Space Calhau, na interseção entre a Rua Duque de Caxias e Rua Barão de Itapary.

No Apêndice 01 é apresentado o Índice de Fragilidade no PE-06, onde foi obtido valor igual a 72 e grau de fragilidade “forte”.

Analisando o Apêndice 01, é possível observar elevados graus de manifestação dos indicadores nesse PE, com Índice de Fragilidade – Ambiental igual a 33 pontos de um total de 55 pontos possíveis de serem atingidos, Índice de Fragilidade – Tecnológica igual a 27 de um total de 35 pontos possíveis de serem atingidos e Índice de Fragilidade - Institucional igual a 17 de um total de 20 pontos possíveis de serem atingidos.

Assim como os demais pontos de estudo, o PE-06 vem passando por algumas alterações, ultimamente a área tem sido alvo construtoras locais para a incorporação de seus empreendimentos, como exemplo, o condomínio residencial Space Calhau. Com a realização da pesquisa de campo, notou-se que mesmo com o processo de urbanização local, na área de estudo ainda se tem a presença de vários terrenos baldios, ruas sem pavimentação e lixões a céu aberto.

O ponto de estudo possui declividade acentuada, com sua vazão de contribuição a jusante na Estrada do Pimenta. Dessa forma, durante os períodos de elevadas precipitações descarrega toda a sua vazão nos PE-05, PE-04, PE-03 e PE-02 gerando grandes picos de alagamentos nesses locais. Mediante a tal situação, quem tem necessidade de passar por essas imediações acaba sofrendo com a lentidão do trânsito no local, pelo grande volume de veículos presentes na via e também pelos defeitos de pavimentos oriundos das falhas do sistema de drenagem pluvial existente que acabam gerando lentidão no trânsito e engarrafamentos quilométricos.

A ocorrência de alagamento nesta área é atribuída a ineficiência dos dispositivos de coleta das águas pluviais, a Figura 21 item “a)” apresenta alguns problemas na estrutura do pavimento devido escoamento superficial na interseção entre a Rua Duque de Caxias e Rua Barão de Itapary, como consequência no item “b)” é possível visualizar os alagamentos no local contribuindo significativamente para a redução da vida útil dos pavimentos e acessos.

Figura 21: a) Interseção entre a Rua Duque de Caxias e Rua Barão de Itapary, apresentando problemas devido falhas no sistema de drenagem. b) Alagamentos na Rua Barão de Itapary que desaguam nos demais PEs. c) Ausência de dispositivos de microdrenagem e acúmulo de resíduos sólidos frente Associação Do Altos Do Calhau. d) Alagamentos frente a Associação Do Altos Do Calhau.



Fonte: Autora, (2020).

Ainda com relação a Figura 21, o item “c)” é apresenta a disposição de resíduos sólidos e deposição de sedimentos na via pública, frente à Associação Do Altos Do Calhau, que acabam sendo arrastados provocando entupimentos dos dispositivos existentes, alagamentos (conforme item “d)”) e assoreamento do corpo receptor.

### 6.3 Análise geral dos resultados

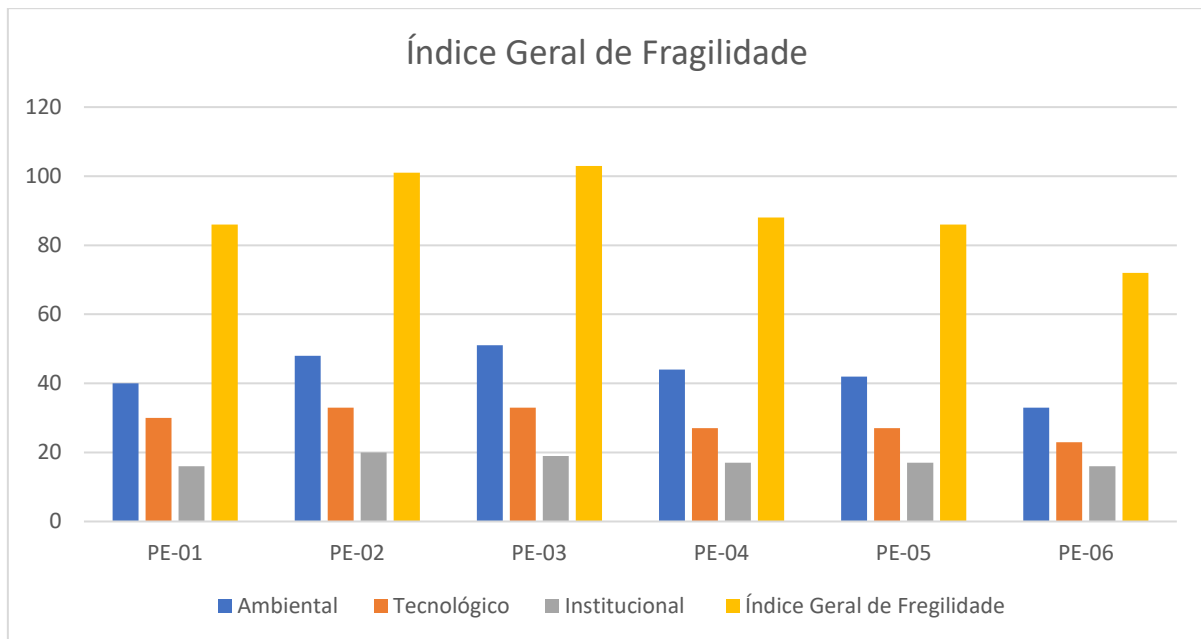
Com a finalidade de avaliar a funcionalidade do sistema de drenagem pluvial urbano da Estrada do Pimenta no bairro Alto do Calhau, o estudo em questão fundamentou-se na metodologia do Índice de Fragilidade do Sistema afim de constatar os principais problemas de drenagem da via.

Assim, para dá início avaliação da drenagem urbana baseou-se em visitas *in loco* durante o período chuvoso com a intenção de mapear, identificar e registrar por meio de

fotografias os pontos de estudos (PE), que apresentam possíveis falhas nos elementos de micro e macrodrenagem.

Com as visitas ao local de estudo, providenciou-se a divisão da área estudada em seis pontos de estudo (PE). Em sequência o Gráfico 05, referente a todos os PEs, demonstra o Índice Geral de Fragilidade do Sistema, que é composto do somatório dos resultados dos Índices de Fragilidade Ambiental, Tecnológico e Institucional.

Gráfico 05: Representação gráfica do Índice Geral de Fragilidade para os 6 pontos de estudo na Estrada do Pimenta



Fonte: Autora, (2020).

Os somatórios das relevâncias que resultam no Índice Geral de Fragilidade – IGF estabelecem a classificação dos principais problemas a serem solucionados. Além disso, os valores do IGF de cada ponto de estudo são utilizados também como referência permanente do sistema estudado.

Conforme pode-se observar no Gráfico 05, os Índices de Fragilidade dos sistemas oriundos da Estrada do Pimenta são categorizados como de alto grau de fragilidade (forte e muito forte). Isso se deu em virtude dos pesos concedidos à manifestação dos indicadores que, em sua grande maioria, obteve o peso 5, ou seja, os indicadores de cada ponto de estudo são agravantes para o funcionamento da drenagem pluvial, resultando em transtornos para a população local.

Analisando os dados que compõe o IGF dos sete pontos de estudo, notou-se que o PE- 03 foi o que recebeu maior pontuação entre todos, atingindo 103 pontos de um total de

110 pontos possíveis de ser alcançado pelo índice em conformidade com a metodologia adotada. Considerando os dados, observa-se que neste PE o Índice de Fragilidade Tecnológico, quase atingiu a nota máxima, obtendo 33 pontos de 35 possíveis de serem atingidos.

Em suma, o Índice de Fragilidade Tecnológico refere-se basicamente as adversidades relacionadas ao escoamento da precipitação de chuva na via, funcionamento dos dispositivos de coleta e ineficiência da capacidade de transporte dos condutos. O subdimensionamento dos elementos de microdrenagem de forma conjunta com a ineficiência dos dispositivos de coleta do PE condicionam a redução da vida útil de equipamentos, pavimentos e aumentam a ocorrência de alagamentos nas épocas de chuva.

Os indicadores de Fragilidade Ambiental poderiam oscilar entre 0 e 55. Contudo, os indicadores de natureza ambiental acabaram por variar entre 33 e 51, os valores máximos para este índice foram atribuídos nos PE – 02 e PE – 03. Nestes foram detectados a presença a degradação física de terrenos baldios, favorecendo a produção de sedimentos além da contaminação do corpo receptor e a potencialização do aumento dos índices de insalubridade da população da localidade.

Os indicadores institucionais dos pontos de estudo apresentaram valores elevados, estes indicadores fazem alusão à manutenção periódica dos dispositivos de microdrenagem. Entretanto, os PEs da Estrada do Pimenta encontram-se em uma situação caótica demonstrando nitidamente a falta de manutenção, fez-se comum encontrar ausência de dispositivos de microdrenagem e os existentes estavam destruídos ou abarrotados de resíduos sólidos alterando o funcionamento do sistema.

Ao longo do levantamento dos dados pôde ser observado que em vários pontos de estudos, destacando os PE – 02, PE – 03, PE – 04 e PE – 05, a disposições de resíduos sólidos de diferentes naturezas, favorecendo o carreamento dos mesmo para a microdrenagem e posteriormente macrodrangem, fazendo valer a máxima abordada pelo autores no referencial teórico dessa pesquisa, que para o funcionamento ideal o sistema de drenagem deve ser pensado, executado e operado de forma conjunta com os demais serviços da cidade.

A aviação do sistema de drenagem urbana, por meio da metodologia do Índice de Fragilidade do Sistema, foi realizada com a finalidade de buscar medir a eficiência do sistema de drenagem em questão. Uma vez realizada a avaliação sugeriram uma série de desconformidades no que diz respeito ao funcionamento do sistema.

Realizado este diagnostico, partiu-se para a verificação de serviços e ações, estruturais ou não, que podem levar a solução do problema enfrentado. Assim, com finalidade



de detalhar estes conjuntos de ações foi elaborado o Quadro 09 com a identificação das recomendações para cada ponto de estudo.

Quadro 09: Matriz de identificação das ações recomendadas para cada PE.

<b>IDENTIFICAÇÃO DE AÇÕES POR PONTOS DE ESTUDO</b>						
<b>PONTOS DE ESTUDO</b>						
PE – 01    2°30'9.20"S e 44°15'39.04"O						
PE – 02    2°30'14.45"S e 44°15'30.11"O						
PE – 03    2°30'12.93"S e 44°15'24.23"O						
PE – 04    2°30'12.01"S e 44°15'20.63"O						
PE – 05    2°30'8.70"S e 44°15'16.49"O						
PE – 06    2°30'1.98"S e 44°15'10.24"O						
<b>Ações</b>	<b>Pontos de Estudo</b>					
	PE – 01	PE – 02	PE – 03	PE – 04	PE – 05	PE – 06
Implantação de obras de micro-drenagem	X	X	X	X	X	X
Implantação de obras de macro-drenagem						
Cadastro de dispositivos existentes	X	X	X	X	X	X
Desobstrução de dispositivos hídricos	X	X				
Reconstrução física de dispositivos existentes	X	X	X			
Adequação ou melhoramento de dispositivos existentes	X	X	X	X	X	X
Recuperação de pavimentos		X	X	X	X	X
Campanhas de educação pública ambiental	X	X	X	X	X	X
Monitoramento	X	X	X	X	X	X

Fonte: Autora, (2020).

A partir da identificação das ações a serem tomadas para cada ponto de estudo foi possível quantificá-los e organizá-los de forma a estruturar as atividades corretivas. Assim, a utilização metodologia, juntamente com a elaboração de planos diretores pode trabalhar como uma excelente ferramenta preventiva de controle de alagamentos.

## 7 CONCLUSÃO

Problemas relacionados à drenagem urbana, semelhantes ao que a capital maranhense tem enfrentado, vêm sendo cada vez mais comum, pois o tema em questão não faz parte apenas da realidade da região, uma vez que outros lugares do país têm enfrentado problemas correlacionados ao uso e ocupação do solo, alto índice de impermeabilização do solo e a manutenção inadequada do sistema de drenagem.

Foi possível concluir que a utilização dos indicadores de fragilidade é de enorme relevância para o processo de planejamento, gerenciamento, desenvolvimento de planos diretores e projetos de drenagem pluvial urbano, assim sendo, quando aplicado como ferramenta de gestão pública demonstra-se como uma ferramenta eficiente na identificação de falhas em sistemas de drenagem pluvial urbana.

Ficou claro que a metodologia apresentada possui enorme possibilidade de se adaptar as diversas características das áreas de estudo, tendo em vista que a caracterização pode ser ajustada a partir da escolha correta dos IFS aplicados. Então, mesmo sendo apresentada em caráter experimental, a metodologia do Índice de Fragilidade do Sistema conseguiu retratar de forma sintetizada os problemas relacionados à drenagem da Estrada do Pimenta.

No objeto de estudo deste trabalho os pontos mais críticos, com maior IFS com relação ao sistema de drenagem foram os PE – 02 e PE – 03, os quais apresentaram os problemas mais significativos da via, no que se refere ao sistema de drenagem, necessitando de providências o mais rápido possível.

Verificou-se que além das obstruções causadas por detritos, temos em muitas bocas de lobo a presença de vegetação, a ausência de sarjetas e as geometrias das bocas de lobo fora dos padrões. Todos esses pontos podem ser resolvidos através de uma manutenção corretiva, tornando os dispositivos eficazes novamente.

A conscientização dos cidadãos é um dos pontos mais significativos, pois um dos principais problemas causadores de alagamentos é o descarte do lixo em vias públicas, já que esses são levados diretamente para os dispositivos de drenagem fazendo com que eles fiquem sobrecarregados e conseqüentemente tenham uma baixa eficiência.

Contudo, para apresentação das propostas de soluções do sistema de drenagem da rodovia ao poder público, seria necessário um estudo viabilidade econômica para a implantação das medidas estruturais e não estruturais na Estrada do Pimenta. Todavia, a realização deste estudo necessitaria de tempo, não sendo objeto de presente trabalho, tornando



assim como sugestão para trabalhos futuros a fim de aprimorar o gerenciamento dos sistemas de drenagem pluvial urbana da região.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Séries Históricas de Estações**. Hidroweb – Snirh, 2020. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em 09 de set. de 2020.

AMORIM, Patrícia Silveira. Indicadores De Vulnerabilidade E Classificação De Áreas De Risco Ambiental Na Vertente Sul Da Serra Do Periperi Em Vitória Da Conquista - Bahia – Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, Universidad Nacional Heredia, Costa Rica, vol. 2, p. 1-15, 2011.

ARAÚJO, Ronaldo Rodrigues; NUNES, José Sérgio Alves. Relações geográficas entre o clima e a incidência de dengue na cidade de São Luís - MA. **Ciências Humanas em Revista (UFMA)**, São Luís, v. 3, n.2, p. 91 – 107, 2005.

BELLÉ, Joana Parnoff. **Avaliação da eficiência do sistema de drenagem urbana estudo de caso: Ijuí-RS**. 2011. 112f. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) – Curso Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, RS, 2011.

BRASIL. **Lei 11.445, de 5 de Janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/alocacao-de-agua/oficina-escassez-hidrica/legislacao-sobre-escassez-hidrica/uniao/lei-no-11-445-2007-saneamento-basico/view>>. Acesso em: 23 de set. de 2020.

BRASIL. **Lei 3.253, de 29 de Dezembro de 1992**. Dispõe sobre o zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo urbano e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.gepfs.ufma.br%2Flegurb%2FLEI%25203253.pdf&usg=AOvVaw0dMrBIJGBeiLQIYg7v3vMf>>. Acesso em: 10 de out. de 2020.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. Aluísio Pardo Canholi. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384p.

G1 MA. **Moradores reclamam de prejuízos após chuva em São Luís**. Rede Mirante Maranhão. Maranhão, São Luís. 2017. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2017/03/moradores-reclamam-de-prejuizos-apos-chuva-em-sao-luis.html>>. Acesso em: 22 de fev. de 2020.

GOOGLE EARTH PRO. **MAPAS**. Disponível em: <<https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/desktop/>>. Acesso em: 08 de mai. de 2020.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável** – 2012. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos\\_naturais/indicadores\\_desenvolvimento\\_sustentavel/2012/ids2012.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/indicadores_desenvolvimento_sustentavel/2012/ids2012.pdf)>. Acesso em: 13 de mai. de 2020.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 20 de set. de 2020.

KIPPER, Alex. **Drenagem urbana: comparativo de custos no dimensionamento utilizando sistemas de drenagem tradicional (higienista) e compensatória com microrreservatórios.** 2015. 70f. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2015.

MARANHÃO, Secretaria do Estado de Meio Ambiente e recursos Naturais – SEMA. **Parque Estadual do Rangedor: Plano de Manejo do Parque Estadual do Rangedor.** São Luís. 2017. 361p.

MASULLO, Yata Anderson Gonzaga; SANTOS, José Ribamar Carbalho do. Geoprocessamento Aplicado A Análise Do Avanço Do Processo De Urbanização E Seus Impactos Ambientais Na Ilha Do Maranhão. **V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental.** Belo Horizonte/MG, 2014. p. 1-10.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; VERÓL, Aline Pires; REZENDE, Osvaldo Moura. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade.** 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 361 p.

MONTIBELLER-FILHO, Gilberto. Indicadores e Equidade Social: propriedades dos indicadores de sustentabilidade e ausência do princípio de justiça social em estudos sobre mudança climática e c02. **Interthesis: Revista Internacional Interdisciplinar. Doutorado Interdisciplinar em Ciências Humanas - UFSC,** Florianópolis- SC, v.7.01, p.01-23, jan/jun 2010.

MORAES, Alexandre Perri de. Procedimentos técnicos de dimensionamento da microdrenagem do município de Santo André. **XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento.** Mai de 2015. Poços de Caldas – MG. 15 p. Disponível em: <<http://www.trabalhosasemae.com.br/sistema/repositorio/2015/1/trabalhos/99/118/t118t4e1a2015.pdf>>. Acesso em: 01 de out. de 2020.

NETO, Basílio Pires da Rocha. **Determinação Da Curva IDF Do Município De Newton Bello – Maranhão.** 2018, p. 53. Dissertação (Mestrado). Instituto de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Processos Construtivos e Saneamento Urbano, Belém – Pará – Brasil, 2018.

PINHEIRO, Ana Valéria dos Reis; SILVA, Andressa Hilana Pereira Mercês Da. **Indicadores De Fragilidade De Sistema De Drenagem Urbana: Estudo De Caso Da Bacia Hidrográfica Do Uma – PA.** 2018. Disponível em: <<https://www.saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2019/10/INDICADORES-DE-FRAGILIDADE-EM-UM-SISTEMA-DE-DRENAGEM-URBANA-ESTUDO-DE-CASO-DA-BACIA-HIDROGR%C3%81FICA-O-UNA-PA.pdf>>. Acesso em: 30 de set. de 2020.

SANTOS JÚNIOR, Valdevino José dos. **Avaliação da drenagem pluvial da bacia hidrográfica do córrego Cintra em Montes Claros/MG.** 2013. 84 f. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) - Curso Engenharia Ambiental. Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas Santo Agostinho – FACET, Montes Claros, 2013.

SANTOS, Luiz Eduardo Neves. **Caracterização Sócio - Ambiental de São Luís - Ma.** Instituto da Cidade Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural – INCID. Prefeitura de São Luís,

2009. Disponível em: <[https://www.agenciasaoluis.com.br/midias/anexos/2228\\_caracterizacao\\_socioambiental\\_de\\_sao\\_luis.pdf](https://www.agenciasaoluis.com.br/midias/anexos/2228_caracterizacao_socioambiental_de_sao_luis.pdf)> . Acesso em: 21 de set. de 2020.

SILVA, Bruno Jardim da; PEREIRA, Osmário Sousa; ASSIS, Wilson Antônio Victor de; MORAIS, Luiz Roberto Santos. **O Componente Drenagem Urbana no Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Alagoinhas, Bahia.** 2004. Disponível em: <[www.semasa.sp.gov.br/admin/biblioteca/docs/pdf/35Assemae126.pdf](http://www.semasa.sp.gov.br/admin/biblioteca/docs/pdf/35Assemae126.pdf)>. Acesso em: 22 abr. 2020.

SILVA, Pedro Henrique Nunes Vieira e. **Análise da funcionalidade do sistema de drenagem pluvial urbana na MA 201 através da metodologia do índice de fragilidade do sistema.** 2016. 66 f. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) Curso de Engenharia Civil. Unidade de Ensino Superior Dom Bosco, UNDB. São Luís, MA, 2016.

STEINER, Laura. **Avaliação do sistema de drenagem pluvial urbana com aplicação do índice de fragilidade.** Estudo de caso: microbacia do rio criciúma, sc. 2011. 106 f. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC. Criciúma, SC. 2011.

TOPOGRAPHIC-MAP.COM. **São Luís, Microrregião da Aglomeração Urbana de São Luís, Mesorregião Norte Maranhense, Maranhão, Região Nordeste, Brasil (-2.53192 - 44.29333),** 2020. Disponível em: < <https://pt-br.topographic-map.com/maps/gns6/S%C3%A3o-Lu%C3%ADs/> >. Acesso em: 20 de jun. de 2020.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Gestão da Drenagem Urbana.** Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48). 50p.

ZENKNER, Lucas dos Santos. **Estudo preliminar da vazão de contribuição da bacia de drenagem em um trecho no bairro do Barramar em São Luís – MA.** 2018. 95 f. Trabalho de Conclusão de curso (Monografia) Curso de Engenharia Civil da Unidade de Ensino Superior Dom Bosco – UNDB. São Luís, MA, 2018.

\_\_\_\_\_. **Plano municipal integrado de saneamento básico PMISB de São Luís –MA.** São Luís 2011.

## **APÉNDICE**

APÊNDICE 01 - Índice de Fragilidade nos 6 pontos de estudos.

Ponto de Estudo – PE 01							
Natureza Do Indicador	Indicadores	PE - 01	PE - 02	PE - 03	PE - 04	PE - 05	PE - 06
Ambiental	Degradação física dos terrenos.	4	5	5	5	4	3
	Ausência/ineficiência de dispositivos de armazenamento e de áreas para a infiltração da água pluvial nos lotes.	3	4	4	4	4	4
	Favorecimento da produção de sedimentos.	4	5	5	4	4	3
	Possível erosão da pavimentação das vias de acesso ocasionada pelo escoamento superficial.	3	5	5	3	3	3
	Ocorrência de alagamento.	4	5	5	4	4	3
	Contribuição para alagamento de outros PE's.	4	1	3	5	5	5
	Disposição de resíduos sólidos e sedimentos em vias públicas.	4	5	5	4	4	3
	Interação inadequada com esgoto nos equipamentos de drenagem.	2	4	4	4	3	2
	Interferência inadequada no trânsito de veículos.	4	5	5	4	4	3
	Interferência no movimento de pedestres na ocorrência de alagamentos.	4	5	5	4	4	2
	Assoreamento do corpo receptor.	4	4	5	3	3	2
<b>Índice de Fragilidade – Ambiental</b>		<b>40</b>	<b>48</b>	<b>51</b>	<b>44</b>	<b>42</b>	<b>33</b>
Tecnológica	Deterioração física dos equipamentos de drenagem.	4	4	4	3	3	3
	Ineficiência do escoamento nas vias.	5	5	5	4	4	4
	Inexistência de diretrizes para a execução das estruturas de drenagem urbana.	5	5	5	4	4	4
	Ineficiência dos dispositivos de coleta.	4	5	5	4	4	3
	Ineficiência da capacidade de transporte pelos condutos.	4	4	4	4	4	3
	Redução da vida útil das estruturas de drenagem.	4	5	5	4	4	3
	Redução da vida útil dos pavimentos e acessos.	4	5	5	4	4	3
<b>Índice de Fragilidade - Tecnológica</b>		<b>30</b>	<b>33</b>	<b>33</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>26</b>
Institucional	Elevação dos gastos com manutenção e conservação dos equipamentos públicos.	4	5	5	4	4	4

Aumento da demanda de recursos hídricos financeiros para a implementação de obras.	3	5	5	4	4	3
Perda de credibilidade da administração pública.	5	5	5	5	5	5
Ausência de manutenção regular do sistema de drenagem urbana.	4	5	4	4	4	4
<b>Índice de Fragilidade - Institucional</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>16</b>
<b>Índice Geral de Fragilidade</b>	<b>86</b>	<b>101</b>	<b>103</b>	<b>88</b>	<b>86</b>	<b>72</b>

Fonte: Autora, (2020).

## **ANEXOS**





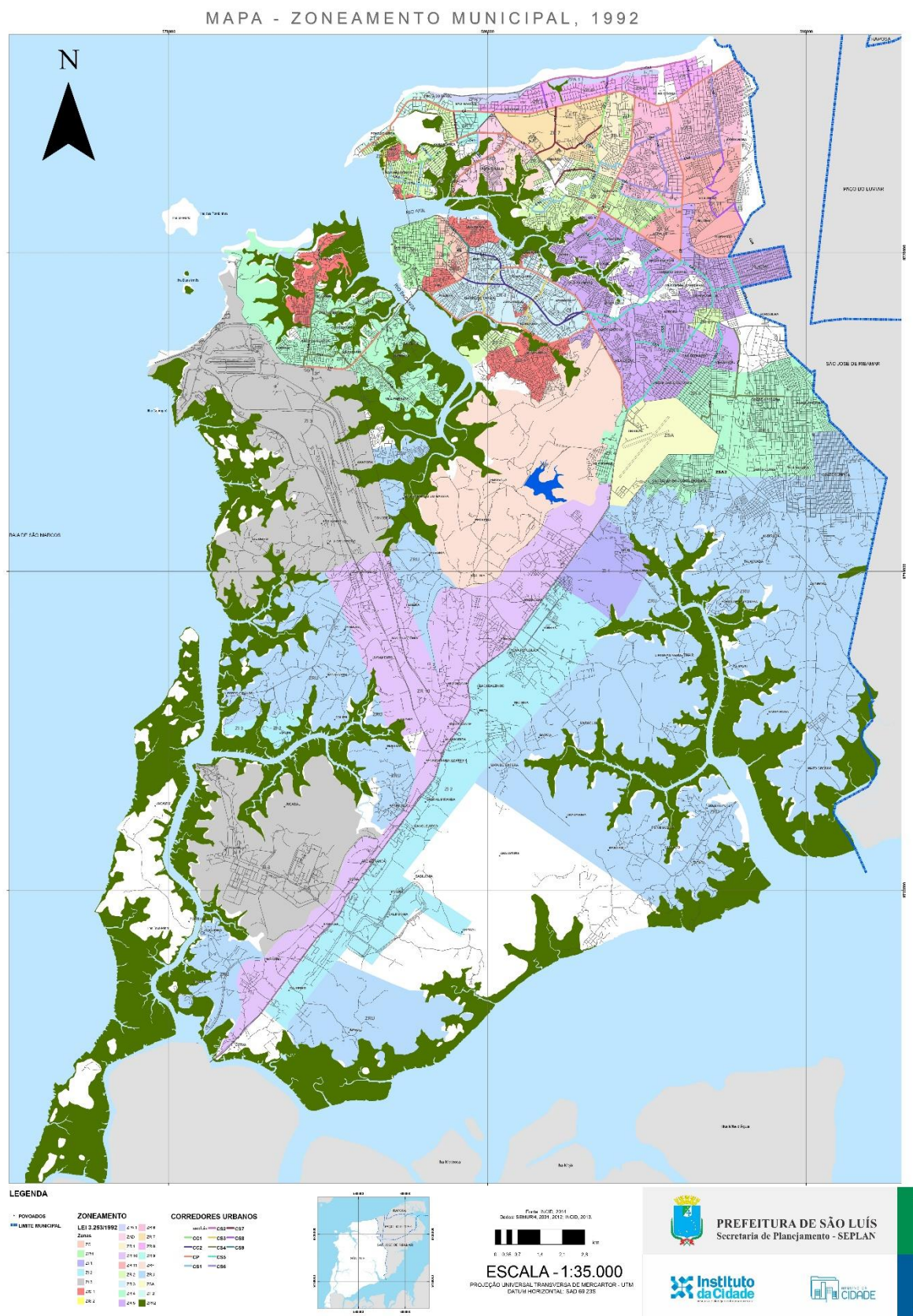
## ANEXO 02 - Distribuição pluviométrica mensal em São Luís – MA.

<b>PRECIPITAÇÕES (mm) EM SÃO LUÍS ENTRE 1990 E 06/2019</b>													
<b>ANO</b>	<b>MESES (mm)</b>												<b>MÁXIM A</b>
	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OUT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEZ</b>	
1990	109,2	501,5	198,3	285,9	146,6	154,3	228,4	35,1	33,4	1,0	3,1	56,8	501,5
1991	280,1	168,9	587,9	428	341,4	244,1	94,2	19,3	0,3	3,4	0	0	587,9
1992	307,1	165,7	438,9	94,4	94,2	49,3	46,6	0,2	0,1	0,6	1,1	0,2	438,9
1993	102,7	264,1	406,1	189,8	199,6	96,4	102,6	12,2	0	0	0,6	262,8	406,1
1994	409,9	293,3	712,4	405,3	404,1	235,9	161,5	33,4	16,2	0,2	0	48	712,4
1995	51,3	415,4	367,2	605,0	457	312,3	142,9	6,5	0	2,9	81,4	28,2	605,0
1996	252,1	174,5	548,5	592,3	521,7	90,4	127,7	88,1	14,4	0,8	2,6	6,1	592,3
1997	107,1	113,4	403,2	422,0	267,4	16,1	20,7	0	0	0,3	41,4	29,6	422,0
1998	306,7	58,8	366,1	246,6	144,4	128,2	152,4	2,7	0	0	0,3	53,6	366,1
1999	135,7	375,0	660,8	474,4	241,9	171	131	44,1	0,1	1,1	0	131,1	660,8
2000	267,1	392,1	606	609,6	422,2	146,1	202,1	63,9	12,6	0	0,2	43,3	609,6
2001	336,2	445,4	370,7	590,1	201,8	327,2	150,2	0,5	7,4	0	6,1	44	590,1
2002	345,6	83,4	314,1	489,3	295,4	237	42,3	4,6	0	0	29,3	47,4	489,3
2003	359,1	491,1	570,2	428,8	207,7	148	64,6	34,4	5,9	0,2	4,7	55,8	570,2
2004	445,7	485,4	388	452,9	183,5	213,5	233	83,9	1,5	0	3,2	6,6	485,4
2005	33,1	230,8	350,4	371,4	219,6	256,5	166,4	12,8	0	0,2	4	158,1	371,4
2006	189,9	277,5	369,2	537,3	536,1	261,9	63,2	67	2,3	0	9,3	40,5	537,3
2007	16,3	545,1	457,4	348,6	286,1	61,4	136,3	0,2	2,2	1,0	1,2	42,0	545,1
2008	124,4	413,5	584,5	607,0	314,2	380,0	104,9	51,4	0,4	0,4	0,6	18,5	607,0
2009	375,8	367,2	565,4	767,1	467,7	207,6	71,8	12,3	0	0	2,6	10,3	767,1
2010	108,2	121,5	316,9	393,7	377,5	218,3	105,2	7,0	0,4	0	16,2	90,7	393,7
2011	490,3	457,4	430,9	621,7	310,8	166,8	128	38,7	0	61,6	6,5	0,6	621,7
2012	100,2	238,1	331,7	249,5	86,4	50,8	60,5	11,2	0,2	0	1,6	0,8	331,7
2013	60	279,2	319,1	267,8	186,3	203,4	53	15	4,4	0	13,8	40,5	319,1
2014	149,2	251	161,6	185,5	784,3	245,9	44,3	3,8	0,5	2,2	0	29,6	784,3
2015	30,2	90,3	425,9	367,5	399,7	106,7	76,1	0,1	1,2	19,4	64,5	59,3	425,9
2016	251,1	142,8	362,1	367,5	264,9	133,4	52,1	13,4	1,8	0	0	42,9	367,5
2017	380,0	355,4	442,8	362,1	329,9	120,6	201,4	4,8	0	1,2	0,6	63,2	442,8
2018	253,0	531,0	251,4	478,2	374,2	108,0	74,2	27,2	11,6	4,2	167,7	209,8	531,0
2019	327,9	521,6	818,2	433,7	226,7	223,5	-	-	-	-	-	-	818,2
<b>MÉDIA</b>	<b>223,5</b>	<b>308,3</b>	<b>437,5</b>	<b>422,4</b>	<b>309,8</b>	<b>177,2</b>	<b>111,6</b>	<b>23,92</b>	<b>4,0</b>	<b>3,5</b>	<b>15,9</b>	<b>55,9</b>	<b>530,0</b>

Fonte: Adaptado de ANA, (2020).

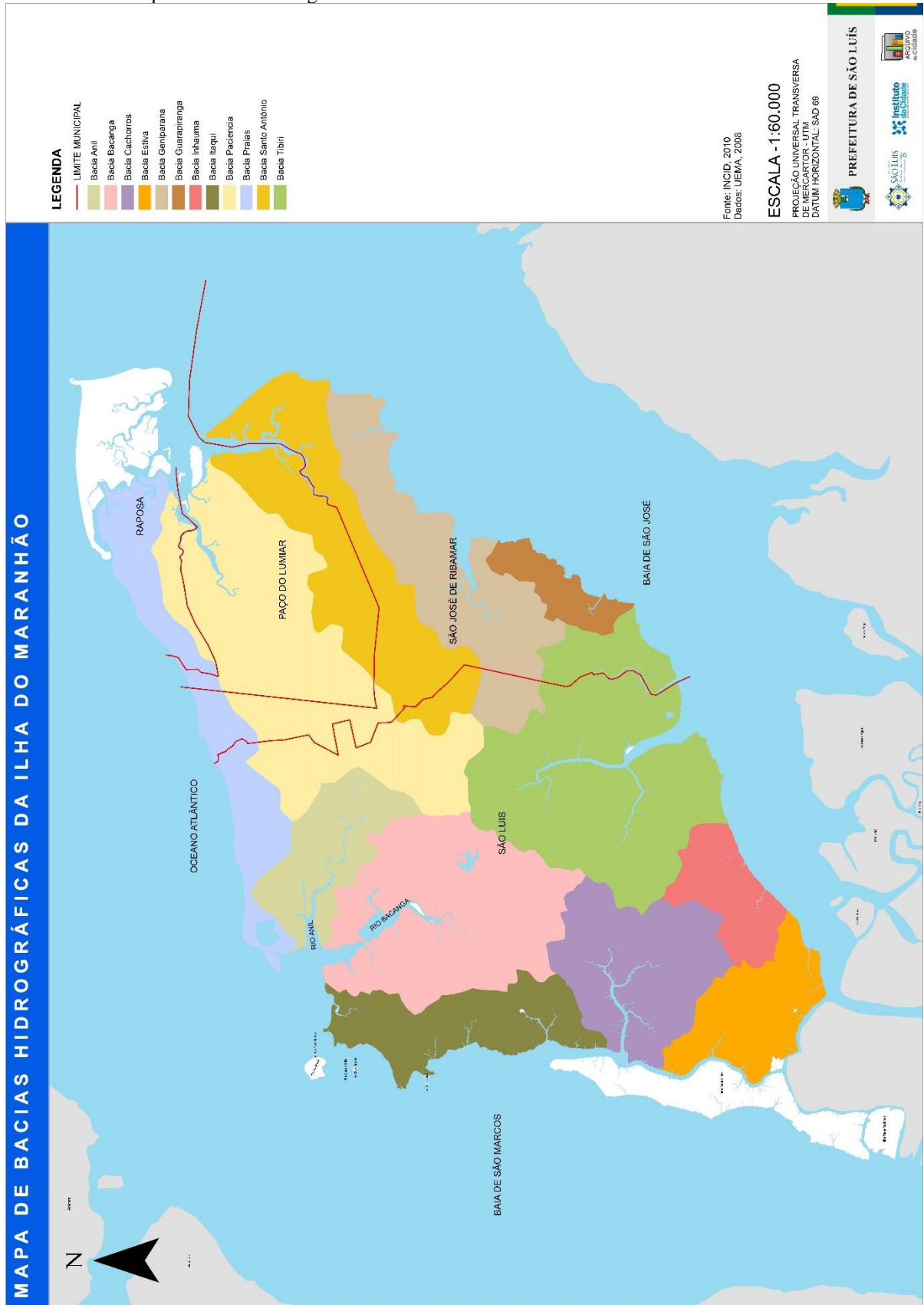


## ANEXO 03 - Mapa de zoneamento Ilha do Maranhão.



Fonte: Agência São Luís, (2020).

ANEXO 04 - Mapa de Bacias Hidrográficas da Ilha do Maranhão.



Fonte: Agência São Luís, (2020).



# Brazilian Journal of Development

## DECLARAÇÃO

A Revista Brazilian Journal of Development, ISSN 2525-8761 avaliada pela CAPES como Qualis B2, declara para os devidos fins, que o artigo intitulado **“ÍNDICE DE FRAGILIDADE EM DRENAGEM PLUVIAL PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÕES NA ESTRADA DO PIMENTA EM SÃO LUÍS – MA”** de autoria de *Waléria Daiany Lima de Brito e Claudemir Gomes de Santana* foi publicado no v.6,n.12, p 95596-95609.

A revista é on-line, e os artigos podem ser encontrados ao acessar o link:  
<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/issue/view/113>

**DOI:** <https://doi.org/10.34117/bjdv6n12-156>

Por ser a expressão da verdade, firmamos a presente declaração.

São José dos Pinhais, 08 de dezembro de 2020.

Dr. Edilson Antonio Catapan  
Editor Chefe  
A.M



ANEXO 06 - Declaração de Aceite de Artigo oriundo da monografia para publicação como capítulo de livro pela Editora Pascal.



### DECLARAÇÃO DE ACEITE

Declaramos para os devidos fins que o trabalho abaixo, foi **APROVADO**, para a publicação como capítulo de livro na obra "**Legado Científico Brasileiro**", vol. 2, pela Editora Pascal LTDA, prefixo 86707.

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA UTILIZANDO OS INDICADORES DE FRAGILIDADE: ESTUDO DE CASO NA ESTRADA DO PIMENTA NO BAIRRO ALTO DO CALHAU EM SÃO LUÍS – MA**, código ID 123.7849 de autoria de **Waléria Daiany Lima de Brito, Claudemir Gomes de Santana**.

São Luís/MA, 28 de Novembro de 2020.

**Prof. Dr. Patrício Moreira de Araújo Filho**  
Editor Chefe  
Conselho Editorial

Av. Jerônimo de Albuquerque, 25, Jardins - São Luís-MA. CEP 65.074-199  
CNPJ 33.753.405/0001-50

www.editorapascal.com.br e-mail: contato@editorapascal.com.br / edicao@editorapascal.com.br



## ANEXO 07 - Primeira Página do Teste de plágio realizado no Software CopySpider.



CopySpider  
<https://copyspider.com.br/>

Page 2 of 232

Relatório gerado por: [ang\\_almeida@outlook.com](mailto:ang_almeida@outlook.com)

Arquivos	Termos comuns	Similaridade
TESTE DE PLÁGIO - MONO FINALIZADA.docx X <a href="http://www.ppe.ufrj.br/images/publicações/mestrado/Heitor_Viola.pdf">http://www.ppe.ufrj.br/images/publicações/mestrado/Heitor_Viola.pdf</a>	630	1,34
TESTE DE PLÁGIO - MONO FINALIZADA.docx X <a href="https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/285/o/Gestão_de_Aguas_Pluviais_PDF?1370615799">https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/285/o/Gestão_de_Aguas_Pluviais_PDF?1370615799</a>	751	1,14
TESTE DE PLÁGIO - MONO FINALIZADA.docx X <a href="https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_4.pdf">https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_4.pdf</a>	1057	1,08
TESTE DE PLÁGIO - MONO FINALIZADA.docx X <a href="https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/tcc_ok_pedro.pdf">https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/tcc_ok_pedro.pdf</a>	108	0,91
TESTE DE PLÁGIO - MONO FINALIZADA.docx X <a href="https://blog.brkambiental.com.br/galerias-pluviais-e-rede-de-esgoto">https://blog.brkambiental.com.br/galerias-pluviais-e-rede-de-esgoto</a>	71	0,59
TESTE DE PLÁGIO - MONO FINALIZADA.docx X <a href="https://docplayer.com.br/144881920-Comunicado198-tecnico.html">https://docplayer.com.br/144881920-Comunicado198-tecnico.html</a>	58	0,38
TESTE DE PLÁGIO - MONO FINALIZADA.docx X <a href="https://www.terra.com.br/noticias/dino/a-correta-gestao-das-aguas-pluviais-urbanas-traz-beneficios-a-populacao,4ab8767299fa160ee73b5c1a05e5e59aa8hzqdr3.html">https://www.terra.com.br/noticias/dino/a-correta-gestao-das-aguas-pluviais-urbanas-traz-beneficios-a-populacao,4ab8767299fa160ee73b5c1a05e5e59aa8hzqdr3.html</a>	36	0,33
TESTE DE PLÁGIO - MONO FINALIZADA.docx X <a href="https://www.heflo.com/pt-br/melhoria-processos/indicadores-de-desempenho-kpi">https://www.heflo.com/pt-br/melhoria-processos/indicadores-de-desempenho-kpi</a>	28	0,23
TESTE DE PLÁGIO - MONO FINALIZADA.docx X <a href="https://www.infoescola.com/hidrografia/bacia-hidrografica-do-atlantico-sul">https://www.infoescola.com/hidrografia/bacia-hidrografica-do-atlantico-sul</a>	8	0,07
TESTE DE PLÁGIO - MONO FINALIZADA.docx X <a href="https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/geografia/bacia-hidrografica-do-atlantico-sul">https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/geografia/bacia-hidrografica-do-atlantico-sul</a>	0	0